

## CAPPANONE INDUSTRIALE

con copertura costituita da volte sottili conformate a paraboloide iperbolico, a pianta romboidale, sfalsate; distanze fra i pilastri di m. 21 x 14. I bordi dei pannelli di paraboloidi iperbolico sono disposti in piani verticali diagonali incrociati, rispetto alla pianta del capannone, così che i pannelli di contorno risultano sezionati formando volte paraboliche, sporgenti « a visiera » sulle pareti perimetrali.

STRUTTURE SPECIALI PER COSTRUZIONI INDUSTRIALI

**Impresa di Costruzioni Ing. FELICE BERTONE**

**TORINO - Via Giovanni Servais, 46 - Tel. 793.189**

# RASSEGNA TECNICA

La « Rassegna tecnica » vuole essere una libera tribuna di idee e, se del caso, saranno graditi chiarimenti in contraddittorio; pertanto le opinioni ed i giudizi espressi negli articoli e nelle rubriche fisse non impegnano in alcun modo la Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

## Stabilizzazione delle sabbie con miscela binaria

CESARE CASTIGLIA partendo da una trattazione teorica del fenomeno della stabilizzazione dei materiali ad elevata porosità, attraverso una serie di prove di laboratorio su miscele sabbia-polverino d'alto forno stabilizzate a cemento, definisce la legge di variazione del modulo elastico nei confronti dello stato di sollecitazione, per il suo inserimento nel processo di calcolo (spessore - modulo - sollecitazione) delle pavimentazioni stradali.

1. La resistenza alla compressione delle malte cementizie da costruzione di elevata compattezza può essere desunta in prima approssimazione dalla formula del Feret:

$$R_c = K(t) \left( \frac{c}{1-s} \right)^2$$

in cui la resistenza  $R_c$  è data in funzione dei volumi unitari di cemento ( $c$ ) e di inerte ( $s$ ) e di un fattore  $K$  variabile nel tempo in funzione della qualità del cemento impiegato.

Qualora si sostituisca al valore  $(1-s)$  l'equivalente  $(1+c-\rho)$  ove «  $\rho$  » indica la quantità solida ( $s+c$ ) nella miscela, la stessa formula mette in evidenza quantitativa l'importanza della compattazione del materiale.

Altra caratteristica della formula del Feret è quella di mostrare come, per inerti e legante dato e con la costanza delle modalità di confezione, ad un tempo prefissato  $t$  le caratteristiche meccaniche di una malta dipendono dalla quantità di pasta di cemento che si ripartisce nei vuoti dello scheletro inerte dell'impasto <sup>(1)</sup>.

Infatti la formula del Feret può essere scritta nella forma:

$$R_c = K(t) \frac{1}{1 + \frac{a+v}{c}}$$

in cui  $a$  = volume unitario d'acqua  
 $v$  = vol. unitario dei vuoti

<sup>(1)</sup> Anche le caratteristiche reologiche di malte e calcestruzzi dipendono dagli stessi fattori, a conferma in tempi più recenti delle esperienze del Feret.

Scritta in tal modo la formula permette di valutare la resistenza delle malte in funzione del rapporto acqua/cemento e della compattezza relativa del materiale

$$\left( \frac{a+v}{c} \right).$$

2. Pur restando fissi i due principi prima enunciati, per basse dosature di cemento e miscele inerti del tipo adottato nella tecnica stradale ad alto indice dei vuoti sembra più adatta allo studio del fenomeno la formulazione sperimentale di Dutron e Cloes <sup>(2)</sup> che lega la resistenza con una espressione del tipo:

$$R_c = K(t) \left( \frac{c}{v^2} + \alpha \right)$$

in cui i simboli conservano i significati dati e «  $\alpha$  » è un fattore correttivo dipendente dalla natura e qualità del fine  $\leq 5\mu$  <sup>(3)</sup>.

Trascurando tale fattore, la formula può essere senz'altro semplificata in:

$$R_c = K'(t) \frac{P_c}{(\gamma - \gamma_s)^2}$$

in cui  $P_c$  è la percentuale in peso del cemento impiegato  $\gamma$  il peso specifico reale della miscela e  $\gamma_s$  la sua densità secca.

<sup>(2)</sup> « V Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering » - Paris, 1961.

<sup>(3)</sup> L'aggiunta del fattore «  $\alpha$  » è dovuta al Christophe (R. G. Routes 1964 n° 391/99), con valore compreso fra -0,07+0,04.

La formula così semplificata ci permette di affermare che dei tre fattori:

- stabilizzazione granulometrica
- quantità di cemento
- rapporto  $A/C$

nell'ambito delle terre stabilizzate diviene assai importante il primo legato in forma quadratica alla resistenza. Il secondo fattore, limitato in linea pratica dalla entità del ritiro, è riportato a relazione lineare, mentre il terzo (rapporto, acqua/cemento) che ha una influenza notevole nella resistenza delle malte compatte secondo Feret, scompare per le miscele terra-cemento essendo implicito nella ricerca dell'ottimo Proctor.

L'esperienza mostrerà fra l'altro la sua scarsa influenza in quell'intorno.

Ci sembra pertanto che in conclusione le qualità meccaniche di una miscela terra-cemento possano essere studiate e realizzate attraverso una opportuna indagine sulla stabilizzazione degli inerti per granulometria e per compattazione, e l'ordine di grandezza delle caratteristiche meccaniche individuato attraverso la ricerca dei fattori variabili delle formulazioni teoriche.

3. Lo studio relativo alla stabilizzazione delle sabbie, dei tipi generalmente in uso come materiali stradali, offre un duplice interesse: il primo relativo alla utilizzazione del materiale sabbioso direttamente in sottofondi e fon-

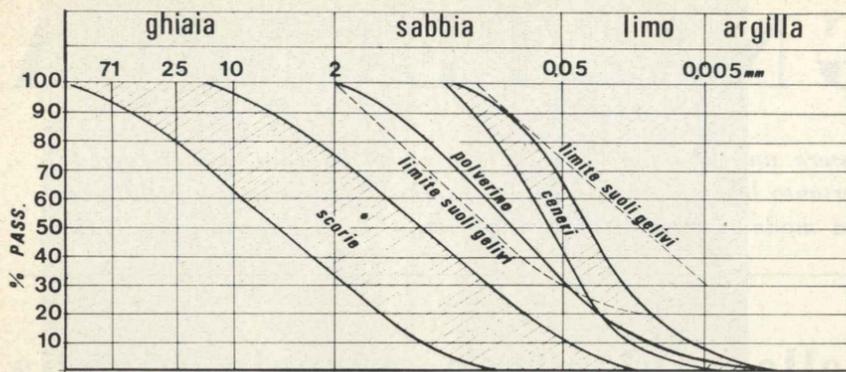


Fig. 1. - Analisi granulometriche delle scorie e del polverino d'alto forno e delle ceneri volatili.

dazione; il secondo relativo alla più corretta individuazione delle caratteristiche meccaniche di un misto-cementato (a maggiori dimensioni di inerte) partendo dall'analisi della malta, analisi che con i mezzi standard a disposizione nei Laboratori Materiali Stradali è certamente più agevole.

Per verificare infatti le qualità di un misto-cementato attraverso le caratteristiche dei suoi elementi fini (sabbia-cemento) si può proficuamente applicare il metodo Buisson (4). Tale metodo consiste nel determinare le variazioni del fattore di qualità  $\left(\frac{c}{a+v}\right)$  in funzione del tenore d'acqua, per granulometrie diverse. Si ottengono delle famiglie di curve tipo Proctor che permettono di esaminare la miglior composizione di un misto-cementato nel rapporto miscela sabbia-cemento inerti di maggiori dimensioni.

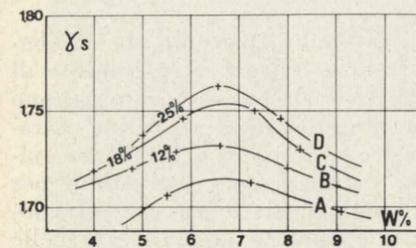


Fig. 2. - Curve Proctor (modificato) per miscele sabbia-cemento (A) e miscele binarie sabbia-polverino (B-C-D).

Come precedentemente detto ogni indagine dovrà prendere le mosse dallo studio granulometrico delle miscele e dalla esatta deter-

(4) Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics - Maggio 1948.

minazione dei parametri caratteristici della compattazione.

Dopo questi studi preliminari il prodotto finito sabbia-cemento verrà esaminato nei suoi altri aspetti di utilizzazione riguardanti:

- resistenza meccanica
- entità del ritiro
- modulo elastico.

4. Lo studio sperimentale qui intrapreso si riferisce alla stabilizzazione di quel gruppo di sabbie a scheletro aperto, con com-

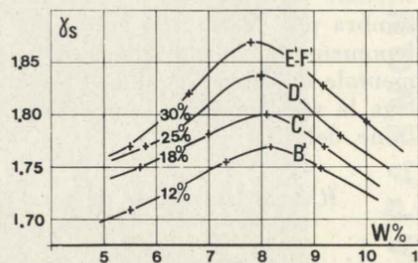


Fig. 3. - Curve Proctor (modificato) per miscele sabbia-polverino-cemento.

pattezza soffice compresa fra il 60 e il 70 %, del tipo largamente in uso quale materiale per costruzioni stradali.

TAB. 1.

	Ceneri volanti	Polverino di alto forno
Silice	40 %	6 %
Ossido ferrico	15 %	50 %
Allumina	25 %	5 %
Ossido di calcio	5 %	2 %
Ossido di magnesio	2 %	5 %
Perdita di peso a 900°	13 %	32 %

Dall'esame della curva granulometrica, tutta compresa fra 0,2 e 2 m/m risulta evidente la mancanza di fine del tipo filler. Dato il difficile rinvenimento in loco dello stesso, l'attenzione si è spostata sui prodotti di scarto dell'industria elettrica e siderurgica, a somiglianza di quanto fatto largamente in Francia ed in Inghilterra (5) con le « ceneri volanti ».

Per « ceneri volanti » intendendo la parte minerale che accompagna gli incombusti quando si opera l'accensione del carbone nelle centrali termoelettriche.

Il prodotto di scarto dell'industria siderurgica piemontese a disposizione della tecnica stradale (6) è invece il « polverino da alto forno », minerale di ferro che si avvicina alle ceneri volanti granulometricamente (fig. 1) per la parte inferiore ai 50μ, per la superficie specifica e per la composizione chimica qualitativamente simile (presenza di silice, allumina, calcio magnesio ed ossidi di ferro). La differenza quantitativa fondamentale sta negli ossidi di ferro che sono mediamente del 15 % nelle ceneri volanti e del 50 % nel polverino d'alto forno (7).

Nella tabella n° 1 sono riportate le composizioni chimiche mediamente ritrovate nei due materiali.

(5) La bibliografia sull'argomento è assai vasta. Vedasi in particolare: « Utilisation de cendres volantes pour la réalisation de couches de chaussée en sols fins traités » - Dossier S. 1484 - Juin 1965 del « Laboratoire Central des Ponts et Chaussées », ed inoltre: « VI Int. Conf. on Soil Mechanics » - Montreal 1965.

(6) Si ringrazia la Soc. Naz. Cogno di Aosta che ha reso tecnicamente possibile le ricerche.

(7) Data la diversa composizione quantitativa dei due materiali l'effetto pozzolanico, che sembra essere presente nelle ceneri volanti, non offre interesse di ricerca nel polverino d'alto forno.

5. Gli studi sperimentali sono stati iniziati dall'esame delle miscele sabbia-cemento e sabbia polverino (prove  $\gamma_s/W_{ott}$  e indice di portanza CBR). Successivamente sono state studiate le diverse miscele sabbia-polverino stabilizzate a cemento.

Nella tabella n° 2 e nelle figure 2 e 3 sono riportati i risultati delle prove.

TAB. 2.

	Sabbia %	Polverino %	Cemento %	$\gamma_s$	Wott. %	CBR %
A	100	—	6	1,71	6,6	22
B	88	12	—	1,73	7,0	24
C	82	18	—	1,75	6,7	25
D	75	25	—	1,76	6,7	30,5

Risulta immediatamente come le stabilizzazioni binarie mancanti di fine al disotto dei 50μ o a scheletro discontinuo male si prestino ad una compattazione efficace.

Infatti è chiaramente visibile come le miscele del primo e secondo tipo abbiano mantenuto densità secche assai simili a quelle della sola sabbia, sia pure con tenori elevati di cemento o di ceneri.

La conferma di quanto sopra si ha dall'esame dei valori CBR che si mantengono assai modesti e tendono ad appiattirsi su miscele attorno al 20 % di polverino.

Lo spostamento del max CBR per valori compresi fra il 25 ed il 30 % di polverino contro valori 15-20 % delle ceneri volanti dimostrando la maggiore affinità del polverino stesso al filler silicico (8).

Viceversa le miscele sabbia-polverino trattate con cemento mostrano in primo luogo la loro attitudine granulometrica ad essere stabilizzate per compattazione.

Infatti a corrispondenti quantità di polverino l'aggiunta del 6 % di cemento conferisce una migliore capacità di addensamento.

Le curve della fig. 3 e la tab. n° 3 mostrano come la miscela ternaria permetta, a parità di e-

(8) Vedasi Dossier S. 1484 già citato.

nergia, di ottenere degli aumenti percentuali di densità secca compresa fra il 5 % ed il 35 %, mentre i corrispondenti CBR passano dal 24 al 38 % e dal 30,5 al 46 %.

Nella tabella n° 3 il CBR per le miscele con cemento è stato ricavato a 6 ore di maturazione. Ciò allo scopo di evitare che il fenomeno di presa potesse modificare sostanzialmente i valori.

A 24 h di maturazione gli analoghi provini hanno dato tutti valori superiori al 100 % CBR.

Se si verificano gli indici dei vuoti per le diverse miscele,

$$e = \frac{1+c}{\gamma_s \left( \frac{1-p}{\gamma'} + \frac{p}{\gamma''} + \frac{c}{\gamma'''} \right)} - 1$$

in cui:

c = dosaggio di cemento rispetto al volume unitario di miscela

$\gamma_s$  = densità secca della miscela  
 $\gamma'$   $\gamma''$   $\gamma'''$  i pesi specifici assoluti della sabbia, del polverino e del cemento.

Si osserva come il valore dello stesso indice perviene ad un minimo del 40 % circa per la miscela al 25 % di polverino (contro il 70 % della sola sabbia ed il 60 % miscela sabbia-cemento).

La porosità:

$$n = \frac{100 e}{1 + e}$$

scende pertanto dal 40 % al 28 % circa; il che conferma la stabilizzazione granulometrica.

I valori trovati sono eguali a quelli di miscele di sabbia e « Ceneri Volanti del Nord » francesi, mentre restano superiori a quelli con filler silico (26 % con rapporto 1/1 in volume di miscela binaria + 6 % di cemento).

In definitiva questi saggi preparatori stanno a dimostrare come l'aggiunta di polverino di alto forno alle sabbie a scheletro cavo abbia un interesse almeno pari a quello relativo ai filler o alle ceneri, anche senza eventuali effetti pozzolanici.

Seguendo poi le esperienze del Feret e le formule da queste derivate, è da ritenersi che l'aggiunta stessa si tramuterà in un aumento delle condizioni di resistenza meccanica.

6. Le caratteristiche meccaniche delle miscele stabilizzate sono state ricavate essenzialmente da prove di compressione, lasciando alla

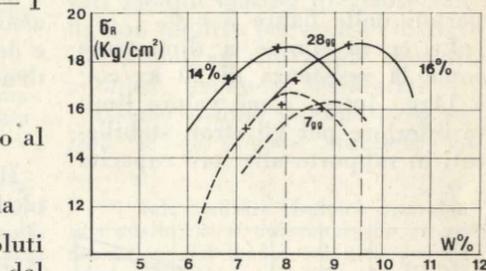


Fig. 4. - Variazione di resistenza in funzione del contenuto d'acqua della miscela.

determinazione della resistenza a trazione per flessione il ruolo di una semplice precisazione della % rispetto alla compressione.

Le prove sono state eseguite su provini CBR, dopo compattazione con la max energia Proctor.

TAB. 3.

	Sabbia %	Polverino %	Cemento %	$\gamma_s$	Wott. %	CBR %
B'	88	12	6	1,77	8,2	38
C'	82	18	6	1,80	8,1	42
D'	75	25	6	1,84	8,0	46
E'	70	30	6	1,87	7,8	46
F'	50	50	6	1,87	7,8	46,5

La quantità d'acqua corrispondente è stata oggetto di un più attento studio in base alle esperienze inglesi e francesi.

Si era infatti verificato con le ceneri volanti Lorenesi che il massimo di resistenza si riscontrava per valori W maggiori di qualche percento rispetto a quelli dedotti in sede Proctor.

La fig. 4 illustra i risultati di una serie di esperienze condotte su miscele sabbia-polverino al 6 % di cemento con rapporti A/C variabili dal 6 all'11 %.

Si vede immediatamente come per valori minori del Wott si abbiano delle cadute di resistenza percentualmente cospicue, per valori crescenti la curva tende ad appiattirsi, mentre il max di resistenza si ottiene per un rapporto A/C sempre maggiore nell'intorno di quello ricavato dalla prova di compattazione.

Questo risultato permette la confezione dei provini per le prove di compressione con un rapporto A/C sulle diverse miscele pressoché costante e sempre maggiore del Wott.

I risultati delle prove sono riportati nelle figure 5 e 6.

Le curve stanno a dimostrare come la resistenza di 20 kg/cm<sup>2</sup> a 14gg., intesa come valore limite inferiore per gli strati stabilizzati in rapporto alle loro capacità

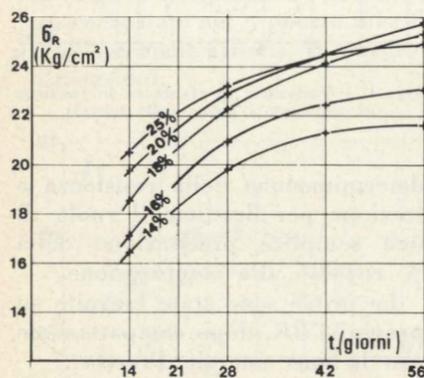


Fig. 5. - Curve di resistenza secondo maturazione dei provini e % di polverino.

portanti e alla resistenza delle alternanze gelive possano essere facilmente raggiunte con % di polverino almeno pari al 20 % della miscela secca binaria.

Il risultato era d'altra parte prevedibile qualora si fosse esaminata la variazione delle densità

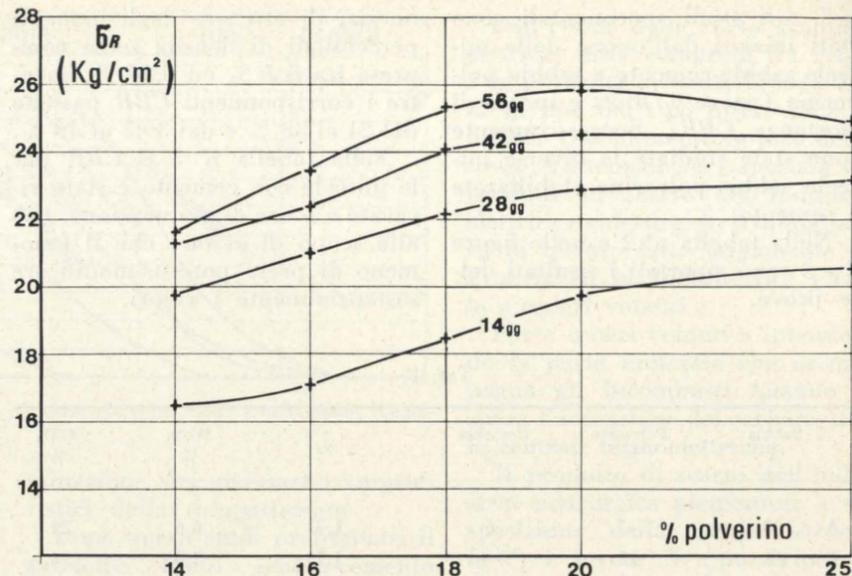


Fig. 6. - Variazione delle resistenze a compressione in funzione della % di polverino d'alto forno.

secche e l'indice di portanza delle miscele al 6 % di cemento.

Applicando la formula di Dutton-Christophe,

$$R_c = K'(t) \frac{P_c}{(\gamma - \gamma_s)^2}$$

e tenendo conto del peso specifico assoluto delle miscele secche  $\gamma$  e della densità secca Proctor si ottiene:

$$K'(14 \text{ gg.}) = 180 \div 200.$$

Il valore ottenuto del Christophe<sup>(9)</sup> è pari a 170 e pertanto, si conclude che anche nel caso delle miscele binarie sabbia + polverino trattate con % di cemento oscillanti dal 4 al 6 % la resistenza a compressione, sempre in tema di ordini di grandezza può essere facilmente dedotta dalla prova di compattazione.

La figura 5 mostra da canto suo come, a differenza dalle malte compatte ad alto tenore di cemento (le cui caratteristiche sono regolate dall'espressione del Feret) la funzione  $K(t)$  non può seguire da sola la maturazione degli stabilizzati a cemento di cui trattati oltre i 28 gg. di maturazione.

Per le ceneri volanti la legge è valida per un periodo più ampio (circa 120 gg.) ma subisce poi una brusca discontinuità<sup>(10)</sup>.

<sup>(9)</sup> R. G. Routes et Aérodomes - Nov. 1967 - n° 465.

<sup>(10)</sup> Vedi nota (5).

### 6. Prove di gelività.

Le prove sono state condotte su provini posti 12 h in acqua a 35°C e 12 in gelo a -10°C.

Le prove sono state condotte per i primi 45 gg. di maturazione.

Le basse percentuali di ceneri (sino al 14 %) danno riduzione di resistenza di circa il 35 % (e macro-alterazioni superficiali); le percentuali alte danno cadute di resistenza trascurabili e comunque sempre inferiori al 20 %.

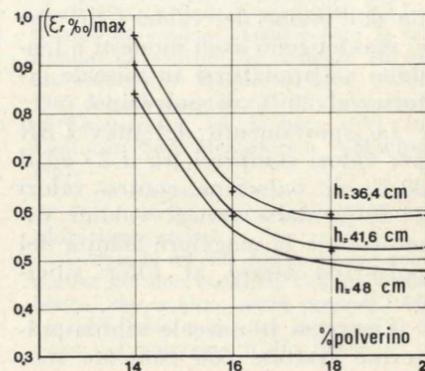


Fig. 6. - Variazione della deformazione dovuta al ritiro in rapporto alla percentuale di polverino (t=45gg.).

Resta pertanto confermato<sup>(11)</sup> che gli stabilizzati che pervengono a valori della resistenza a compressione > 17 kg/cm<sup>2</sup> possono considerarsi « non gelivi ».

<sup>(11)</sup> G. Tesoriere: Costruz. Strade Ferrovie Aeroporti - Vol. II.

La spiegazione del fenomeno può nel caso degli impasti da noi sperimentati essere fatta sul diagramma di cui alla fig. 1, nel quale sono riportate le due curve limiti dei suoli gelivi.

In linea di massima si potrebbe pensare che miscelare con sabbia gli inerti compresi nella zona di gelività comporti la trasformazione della miscela in « geliva ». Ciò è però valido per basse % di inerti che lasciano lo scheletro della miscela ancora « aperto ». Man mano che lo scheletro si chiude (vedasi CBR) gli effetti delle alternanze termiche tendono a scomparire.

Ciò significa che ceneri volanti e polverino d'alto forno non rendono gelivi le miscele nelle quali sono inserite, a patto che la miscela stessa abbia una densità secca al di sopra di un certo minimo.

### 7. Ritiro delle miscele.

Le prove di ritiro sono state effettuate sulle quattro miscele dal 14 al 20 % già studiate per le prove di resistenza e compressione.

I provini di forma prismatica 4x4x16 sono stati compattati con energia Proctor modificato ma con diverse altezze di caduta del pestello.

Scopo della prova studiare l'influenza delle % di polverino e delle modalità di compattazione sul valore asintotico del ritiro e sul suo evolversi nel primo periodo di maturazione (t°=24°C - U=70 %).

Le figure 6 e 7 mostrano i risultati ottenuti.

Si rileva facilmente come i valori del ritiro si addensino per percentuali di ceneri al di sopra del 16 %.

Il ritiro decresce assai rapidamente lasciando alla funzione  $\epsilon_r$ /percentuale di polverino l'aspetto di una bilatera, la cui seconda retta, pressoché parallela all'asse delle ascisse passa tra i due valori 0,5 e 0,6 %.

Le diverse modalità di compattazione (ad energia totale costante) portano a valori diversi se pur limitati nell'ambito dei valori sopra menzionati.

Si ritiene che tale fenomeno sia strettamente legato alla distribuzione dei geli intorno ai grani dell'inerte di maggiori dimensio-

ni: ad altezza di caduta maggiore corrisponde una migliore distribuzione con una minore contrazione totale.

Per le miscele a basso tenore di ceneri il valore asintotico si raggiunge in un tempo superiore alle altre miscele (oltre 60 gg.) mentre per queste ultime può pensarsi stabilizzato a 45 gg.

Il valore minimo riscontrato è circa 1/3 di quello della pasta pura di cemento, a parità di superficie esterna dei provini e condizioni termogrometriche.

### 8. Moduli elastici.

È già stato ampiamente chiarita<sup>(12)</sup> la funzione degli stabilizzati per la formazione di strati di base in pavimentazioni rigide o flessibili: nella pavimentazione rigida essi hanno una funzione essenzialmente costruttiva, nella pavimentazione elastica una funzione « strutturale ».

Inserendo però lo strato stabilizzato in cascata con gli altri strati senza una esatta conoscenza della legge che lega il modulo elastico<sup>(13)</sup> alle caratteristiche di resistenza dello stabilizzato, legge che

<sup>(12)</sup> G. Tesoriere: « Le applicazioni del cemento nelle pavimentazioni stradali » - Giornate della Tecnica Stradale 1967 - Ind. It. del Cemento - n° 2 1968.

<sup>(13)</sup> Si intende per semplicità il valore asintotico del modulo elastico di diverse miscele, o entro breve intervallo le variazioni nel tempo del modulo di una stessa miscela.

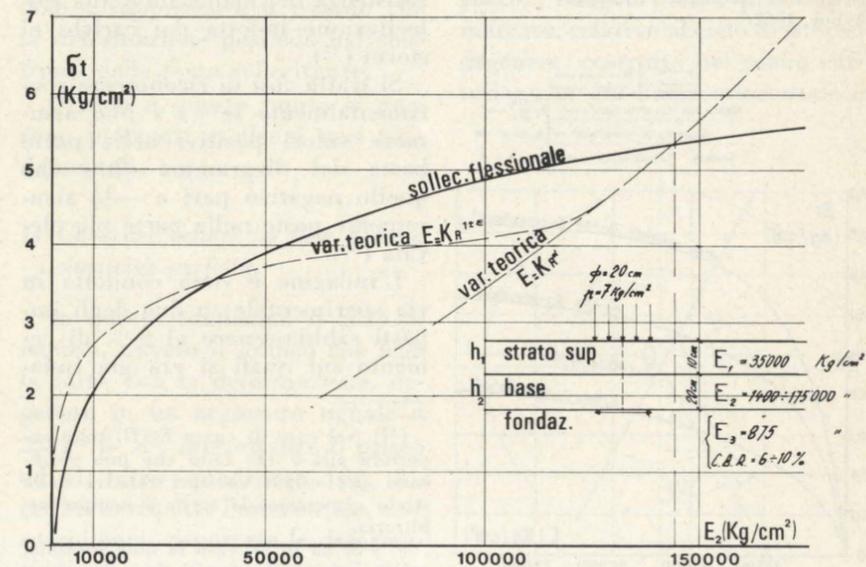


Fig. 9.

si potrebbe indicare con  $E_o(R)$ , si corre il rischio che il processo di calcolo spessore-modulo-sollecitazione venga alterato per superamento dello stato limite fessurativo (superamento dovuto a ragioni statiche della resistenza a trazione per flessione) con conseguente mo-

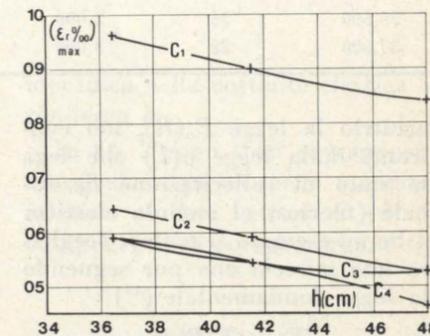


Fig. 7. - Variazione della contrazione dovuta al ritiro in funzione delle modalità di compattazione.

difica delle caratteristiche di resistenza dell'intera pavimentazione<sup>(14)</sup>.

Si è usi affermare che per ovviare a tale inconveniente occorre ottenere per gli strati stabilizzati moduli elastici di valore tale da non indurre per eccesso di rigidità nell'ambito degli spessori adottati, fenomeni fessurativi.

L'osservazione sarebbe però valida se si potesse scegliere ad

<sup>(14)</sup> Tale modifica risulterà equivalente a quella che si otterrebbe con un minor valore del modulo elastico del materiale in esame.

TAB. 4.

$E_0$	$\sigma_{Rc}$	$K$	$1+\epsilon$	
22,600	16	3.000	0,727	14 % di polverino
28,500	20	3.000	0,750	
29,700	22	3.000	0,741	
28,200	20	3.000	0,747	20 % di polverino
32,200	23	3.000	0,754	
35,500	26	3.000	0,758	
37,500	28	3.000	0,760	

arbitrio la legge  $E_0(R)$ , nei confronti della legge  $\sigma(E)$  che lega lo stato di sollecitazione flessionale (teorica) al modulo elastico.

Se ad esempio si potesse scegliere una miscela che pur seguendo la legge fondamentale (15)

$$E_0 = K R^{1+\epsilon}$$

avesse un valore positivo (e all'incirca pari ad 1) del coefficiente «  $\epsilon$  », solo allora ad un basso valore del modulo potrebbe corrispondere un valore della resistenza superiore alla sollecitazione indotta dai carichi nello strato interessato (fig. 8).

Riteniamo invece che la curva di variazione modulo-resistenza o rimane sempre superiore alla curva  $\sigma(E)$  teorica (16) ovvero la taglia

(15) « Les latiers de Haut Fourneau en construction routiere » Special S — Lab. Ponts et Chaussées n° 5 - 1965.

Seed-Monismith: « Resilient Deformation of Untreated Aggregate Base » - HR.B. 190, 1967.

(16) Whiffin — Lister: « The application of elastic theory to flexible pavements » — Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements — Ann Arbor 1962.

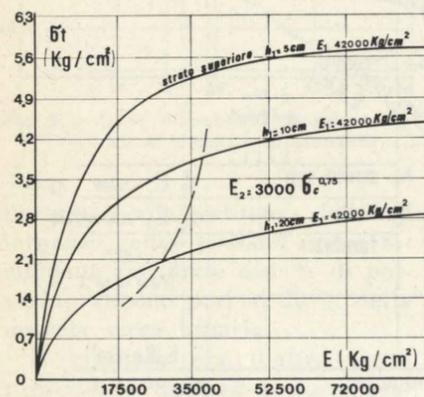
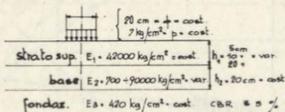


Fig. 10.

in un punto solo al disopra del quale si potrà evitare la fessurazione dello strato cementato; riteniamo cioè che la legge precedentemente enunziata sia valida solo per valori tutti negativi di «  $\epsilon$  ».

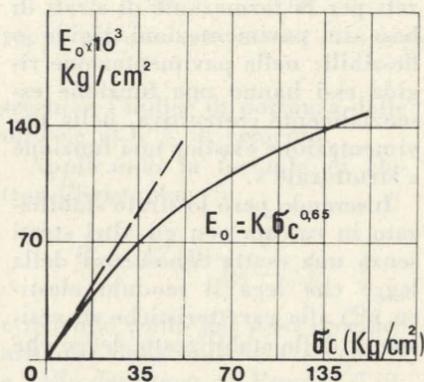


Fig. 11.

Se ciò fosse esatto, nell'ambito di un determinato gruppo di spessori il valore del modulo elastico andrebbe scelto al disopra (e mai al disotto) di un certo valore minimo, legato alle caratteristiche di resistenza del materiale e alla sollecitazione indotta dai carichi esterni (17).

Si tratta così di riconoscere sperimentalmente se «  $\epsilon$  » può assumere valori positivi nella parte bassa del diagramma oltre che quello negativo pari a  $-1/2$  sicuramente posto nella parte più elevata (18).

L'indagine è stata condotta in via sperimentale su due degli impasti sabbia-cenere al 6 % di cemento sui quali si era già inda-

(17) Nel caso di curva  $E_0(R)$  tutta superiore alla  $\delta(E)$  fatto che può verificarsi per esigui spessori relativi dello strato cementato, la scelta è sempre arbitraria.

(18) Si ha in tal caso la nota formula, valida per i calcestruzzi da costruzione  $E_0 = 17 \div 19.000 \sqrt{R_c}$ .

gato precedentemente, ed esattamente sulle miscele al 14 e al 20 % di polverino d'alto forno.

La tabella n° 4 mostra i risultati ottenuti. I moduli elastici sono stati ricavati con prove di carico dirette e controllati, per i valori superiori ai 30.000 kg/cm² con l'apparecchiatura V.I.B. elettronica, che sfrutta per la determinazione del modulo elastico (dinamico) i fenomeni di risonanza del provino (19).

I valori di  $E_0$  riportati in tabella sono ricavati come « tangenti all'origine » dei diagrammi sforzi-deformazione, valori mediamente coincidenti con i moduli elastici dinamici ricavati per risonanza.

La curva ricavata a diverse maturazioni risponde alla legge

$$E_0 = 3.000 \times R^{0.75}$$

La tendenza del coefficiente «  $\epsilon$  » a spostarsi per impasti più compatti verso valori più elevati in valore assoluto, ma sempre negativi, è chiaramente indicata da tutte le esperienze HRB ed in particolare da quelle compiute da R. Jones (20).

In tutte queste esperienze il coefficiente «  $\epsilon$  » assume valori variabili fra  $-0,35$  e  $-0,40$  (fig. 10).

Ci sembra pertanto poter concludere che il valore dell'esponente possa essere sempre considerato inferiore ad 1, anche per bassi valori del modulo elastico, oltre che costante in rapporto alla maturazione.

Nel caso delle esperienze in esame, qualora si facessero coincidere i metodi di misura di  $E_0$  (sperimentale) e di  $E$  (teorico) la formula data si presta alla corretta utilizzazione del materiale stabilizzato per strati di base della tecnica stradale.

Cesare Castiglia

(19) Il valore del modulo dinamico viene desunto dalla legge

$$E_d = 4 f^2 L^2 \frac{p}{g}$$

ove «  $f$  » è la frequenza di vibrazione del provino

«  $p$  » peso specifico apparente  
«  $g$  » l'accelerazione di gravità.

(20) R. Jones: « Measurement of Elastic and Strength Properties of Cemented Materials in Road Bases » HRB n° 128 1966 — Pubbl. n° 1372 — (vedasi anche anche le esperienze di cui alla nota n° 18).

## L'attenuazione acustica dei rumori d'urto nelle soluzioni a « solaio galleggiante »

GIUSEPPE ANTONIO PUGNO esamina il comportamento all'attenuazione dei rumori d'urto offerto da tecniche costruttive da qualche tempo introdotte nell'edilizia. Esposti i parametri che intervengono nel fenomeno, suggerisce criteri di dimensionamento dello strato cedevole la cui presenza tra struttura portante e sottofondo di pavimento costituisce la particolarità di queste soluzioni.

Per contenere entro limiti ancora accettabili la trasmissione dei rumori di percussione (nei quali si possono far rientrare, ad esempio, i passi delle persone e gli spostamenti dei mobili) svolgentisi in direzione verticale attraverso i piani degli edifici, la tecnica edilizia ha, come noto, da qualche tempo introdotto dei modi costruttivi di sufficiente efficacia denominati « pavimenti galleggianti ». La particolarità di tali soluzioni risiede nella presenza di uno strato di materiale cedevole interposto tra la struttura portante ed il massetto ripartitore che è pure sottofondo del pavimento vero e proprio.

Il sistema descritto può essere, pertanto, approssimativamente ricondotto agli schemi coi quali, isolando le macchine sui loro sostegni elastici, si tende ridurre l'ampiezza delle vibrazioni comunicate alle fondamenta.

È noto che quando nessuna forza di resistenza agisce su un corpo in vibrazione naturale, l'ampiezza di questa rimane costante contrariamente a quanto dimostra l'esperienza che la vuole più o meno decrescente nel tempo. Così pure nel caso di vibrazione forzate in risonanza, con le ipotesi precedenti, si trova che l'ampiezza viene ad assumere valori illimitati, mentre si sa che a causa della dissipazione esiste un limite superiore che l'ampiezza non può superare. Lo studio di questi fenomeni vibratorii, per giungere a risultati più vicini alla realtà, deve far dunque intervenire le forze interne di dissipazione.

I problemi di vibrazione, nei quali le forze di smorzamento siano qualunque, possono essere trattati con buona approssimazione sosti-

tuendo alle forze reali delle forze di natura viscosa equivalenti alle precedenti nei confronti del disperdimento di energia ad ogni periodo. È dunque necessario conoscere dei materiali impiegati il valore, in funzione della tensione massima, dell'energia perduta in un periodo che è misurata dall'area del ciclo di isteresi formato durante la deformazione. Essa dipende dai valori massimi di tensione e a parità di questi dalla velocità con cui si percorre il ciclo (frequenza).

Si supponga di sottoporre un campione di prova all'azione di una forza esterna sinusoidale  $P \cos \omega t$ ; la deformazione sia ancora sinusoidale di ugual pulsazione  $\omega$  ma in ritardo rispetto alla forza applicata sicché la sua espressione sarà del tipo:

$$x_1 = A \sin(\omega t - \alpha)$$

In un certo istante  $t$  si può avere la seguente rappresentazione di vettori rotanti intorno ad  $o$  con velocità angolare  $\omega$  (fig. 1). L'angolo  $\alpha$  rappresenta il ritardo che la deformazione possiede nei confronti della forza sollecitante.

Orbene a questo punto si possono prospettare alcuni casi fondamentali.

### 1) Caso dei vettori in fase o della elasticità perfetta.

In queste condizioni il ciclo di isteresi, ovvero il grafico che lega la forza con la deformazione, degenera in un segmento uguale a  $2\sqrt{P^2 + A^2}$  interessante il primo ed il terzo quadrante (fig. 2), inclinato rispetto l'orizzontale, asse su cui sono riportate le deformazioni, di un angolo  $\beta$  la cui tangente vale:  $\text{tg } \beta = P/A$  che si

identifica nella costante elastica o rigidezza  $k$ .

In fig. 2 sono stati sovrapposti due grafici: quello meno marcato relativo ai due vettori  $P$  ed  $A$  equipollenti, di comune origine  $O$ ,

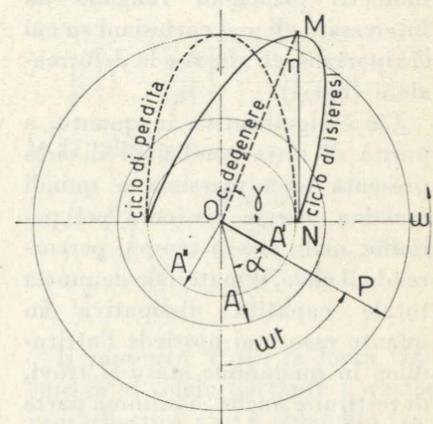


Fig. 1 - Caso della viscoso-elasticità.

animati di moto rotatorio antiorario con velocità costante  $\omega$ , assunti in un generico istante  $t$  e formanti con l'asse verticale, pertanto, l'angolo  $\omega t$ ; quello più marcato, relativo al ciclo di isteresi degenere, costruito nel piano cartesiano in cui l'asse orizzontale è

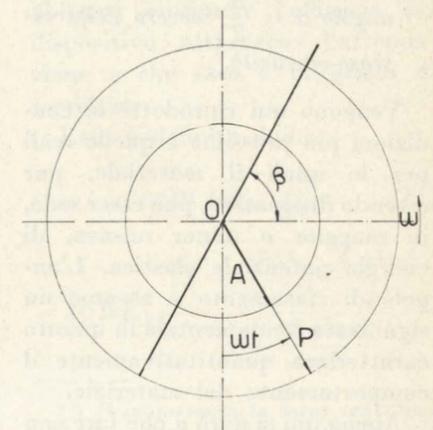


Fig. 2 - Caso della perfetta elasticità.

quello delle deformazioni, il verticale quello delle forze deformanti.

Quando i vettori, pur essendo di egual direzione, sono orientati in senso opposto, il ciclo di isteresi ancora denenera in un segmento rettilineo uguale al precedente ma interessante il 2° e il 4° quadrante.

### 2) Caso dei vettori in quadratura ovvero della viscosità perfetta.

Trattandosi di grandezze sinusoidali è bene subito precisare che il ciclo di isteresi, percorso una volta ogni periodo, non potrà che essere di natura ellittica. I suoi diametri principali vengono ad interessare gli assi cartesiani su cui si riportano gli sforzi e le deformazioni (fig. 1).

Ciò è significativo in quanto, a parità di altre condizioni il ciclo presenta area massima e quindi massima energia dissipata per periodo; nello stesso tempo, percorrendo il ciclo, il materiale denuncia totale capacità dissipativa in quanto esso mai possiede l'attitudine, in qualunque stato si trovi, di restituire anche in minima parte l'energia somministratagli dall'esterno per la percorrenza del ciclo medesimo.

Queste considerazioni sono chiaramente deducibili dalla fig. 1 dalla quale, tra l'altro, si osserva che i semidiametri dell'ellisse valgono  $P$  ed  $A$  e che quindi l'energia dissipata nel periodo è espressa dalla quantità:  $\pi PA$ .

### 3) Caso dei vettori sfasati di un angolo $\alpha < \frac{\pi}{2}$ ovvero della viscoso-elasticità.

Vengono qui riprodotte le condizioni più prossime a quelle reali per le quali il materiale, pur essendo dissipativo, può esser sede, in maggior o minor misura, di energia potenziale elastica. L'angolo di sfasamento  $\alpha$  assume un significato fondamentale in quanto caratterizza quantitativamente il comportamento del materiale.

Anche qui si avrà a che fare con un ciclo di isteresi ellittico più o

meno stretto a seconda che minore o maggiore sia lo sfasamento  $\alpha$ , mentre i diametri principali non interesseranno più gli assi coordinati (fig. 1).

Nel sistema di riferimento adottato l'asse  $n$  formerà con l'asse delle ascisse un angolo  $\gamma$  che è funzione crescente sia dello sfasamento  $\alpha$  sia del rapporto  $P/A$ . Il corpo viscoso-elastico potrà comunque per il principio di sovrapposizione degli effetti, essere assimilato ad un sistema di due corpi dal comportamento limite, disposti in parallelo tra loro (fig. 3): l'uno, perfettamente elastico, caratterizzato dai vettori rotanti  $P$  ed  $A$   $\cos \alpha$  in fase; l'altro, perfettamente viscoso e pertanto dissipativo, caratterizzato dai vettori rotanti  $P$  ed  $A$   $\sin \alpha$  in quadratura.

Ad un ciclo di isteresi reale, quale può dedursi sperimentalmente, si può connettere, pertanto, due cicli di cui uno dissipativo per eccellenza che chiameremo ciclo di perdita ed un altro degenerare in segmento rettilineo (fig. 1).

Indicando con  $W_d$  l'energia dissipata (dall'unità di volume del corpo nel corso di un periodo, energia che sappiamo espressa dall'area della bocca di isteresi od anche dall'area racchiusa dal ciclo di perdita) ed indicando con  $W$  l'energia potenziale elastica in un quarto di ciclo se l'angolo  $\alpha$  fosse nullo, si può introdurre ciò che si definisce attrito interno  $\varrho$  nel modo seguente:

$$\varrho = \frac{W_d}{W}$$

Esso, il più delle volte con approssimazione già sufficiente, può essere fornito dal rapporto tra l'area del ciclo di isteresi e l'area del triangolo rettangolo  $OMN$  (vedasi fig. 1).

Nel caso di un ciclo ellittico l'attrito interno  $\varrho$  ha per valore:

$$\varrho = \frac{\pi PA \sin \alpha}{1/2 PA} = 2 \pi \sin \alpha$$

La  $\tan \alpha$  risulta proporzionale al rapporto tra l'energia dissipata e

l'energia potenziale relativa ad un quarto di ciclo, essendo  $2/\pi$  il fattore di proporzionalità. L'angolo  $\alpha$  viene comunemente indicato con il nome «angolo di perdita» e ricorda, ad esempio, il modo del tutto analogo con cui vengono definite le proprietà dielettriche dei materiali.

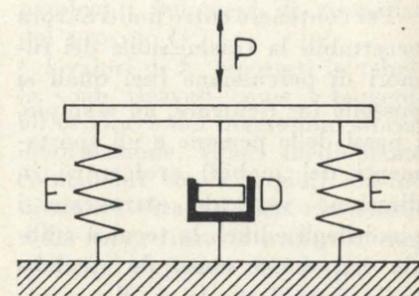


Fig. 3 - Rappresentazione schematica del «pavimento galleggiante» dove  $E$  e  $D$  sono sede di fenomeni elastico e dissipativo rispettivamente.

Si consideri ora il lavoro fornito nel periodo dalla forza perturbatrice nel caso di vibrazioni forzate costanti. Poichè la forza agente, in un certo istante, vale  $P \sin \omega t$  e la velocità del suo punto di applicazione è  $dx_1/dt = A \omega \cos(\omega t - \alpha)$ , il lavoro compiuto durante un intervallo di tempo infinitesimo sarà:

$$dL = P \sin \omega t \cdot A \omega \cos(\omega t - \alpha) dt \quad (1)$$

ed in un periodo

$$\int_0^T dL = \int_0^T P \sin \omega t \cdot A \omega \cos(\omega t - \alpha) dt = \pi A P \sin \alpha$$

Tale lavoro deve essere uguale all'energia perduta durante un periodo a causa della forza di dissipazione la cui intensità vale:

$$-c \frac{dx_1}{dt} = -c A \omega \cos(\omega t - \alpha) \quad (3)$$

ove  $c$  è il coefficiente di dissipazione il cui valore numerico è il valore della dissipazione sull'unità di velocità.

Il lavoro compiuto nel tempo infinitesimo risulta

$$dL_d = -c A \omega \cos(\omega t - \alpha) \cdot A \omega \cos(\omega t - \alpha) dt \quad (4)$$

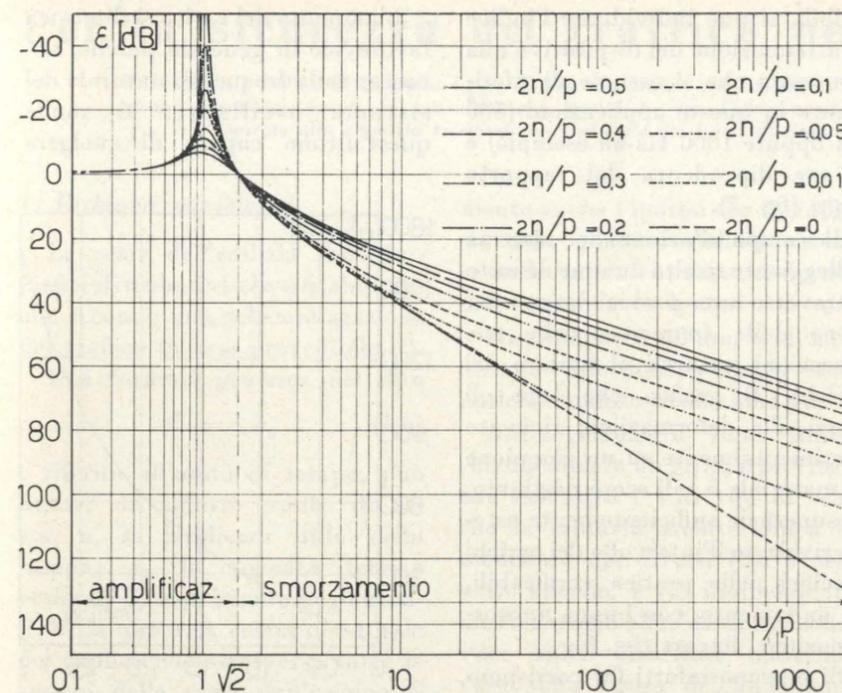


Fig. 4 - Attenuazione  $\epsilon$  delle oscillazioni forzate di frequenza circolare  $\omega$  in funzione di  $\omega/p$  essendo  $p$  la frequenza circolare delle vibrazioni naturali prive di smorzamento, in alcuni casi distinti di dissipazione.

e quindi l'energia dissipata in un periodo è espressa dalla

$$L_d = \int_0^T dL_d = c A^2 \omega^2 \int_0^T \cos^2(\omega t - \alpha) dt = \pi c A^2 \omega$$

Ammettendo che l'ampiezza massima  $A_{\max}$  si produca in condizioni di risonanza (e ciò è vero con sufficiente approssimazione), l'uguaglianza della (5) alla (2) e la misura sperimentale di  $A_{\max}$  permettono un'agevole determinazione del coefficiente  $c$ .

Questo, per altro, come già prima detto, può essere calcolato partendo dal ciclo di isteresi stabilizzato del materiale quando esso sia stato ripetutamente sollecitato da una forza sinusoidale nota.

Per ciascun valore di  $A$  e per ciascun valore di  $\omega$  si otterranno diversi cicli di isteresi le cui aree, uguagliate alle loro espressioni  $\pi c A^2 \omega$ , permetteranno di valutare il coefficiente di dissipazione  $c$  nelle varie condizioni prescelte.

Detta  $S_{A,\omega}$  l'area del ciclo di isteresi quando l'ampiezza di vi-

brazione sia  $A$  e la pulsazione con cui lo si percorre sia  $\omega$ , si potrà scrivere, infatti,

$$c_{A,\omega} = \frac{S_{A,\omega}}{\pi A^2 \omega} \quad (6)$$

Fatte queste premesse si può studiare il comportamento di un corpo in vibrazione forzata montato su un materiale non perfettamente elastico. In esso, si è visto, agisce una forza che si compone di due distinte parti: l'una, proporzionale alla deformazione, è di natura elastica; l'altra, proporzionale alla velocità, è di natura viscosa.

Queste condizioni possono essere realizzate attraverso molle di acciaio e un cilindro ammortizzante che trasmettono alla struttura portante forze che sono sfasate tra loro di  $\pi/2$  e la cui risultante vale:

$$\begin{aligned} \sqrt{K^2 A^2 + c^2 A^2 \omega^2} &= \\ &= A \sqrt{K^2 + c^2 \omega^2} = \\ &= AK \sqrt{1 + \frac{4 n^2 \omega^2}{p^4}} \end{aligned} \quad (7)$$

nella quale  $p$  designa la frequenza circolare di vibrazione naturale del sistema in assenza di smorzamento

ed  $n$  è legato al peso  $W$  del corpo, alla accelerazione di gravità  $g$  ed al coefficiente di dissipazione  $c$  dalla:

$$c = \frac{2 n W}{g} \quad (8)$$

Poichè meccanicamente la causa del fenomeno risiede spesso nell'eccentricità di masse, si chiami con  $P \omega^2 \sin \omega t$  (1) la forza perturbatrice esterna verticale.

Ricordando che l'ampiezza delle vibrazioni, intrattenute da una forza sinusoidale siffatta, si ottiene moltiplicando la flessione statica  $P \omega^2/K$  per il fattore di amplificazione:

$$\frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4 n^2 \omega^2}{p^4}}} \quad (9)$$

la (7) diviene:

$$P \omega^2 \sqrt{1 + \frac{4 n^2 \omega^2}{p^4}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4 n^2 \omega^2}{p^4}}} \quad (7 \text{ bis})$$

Il rapporto  $T$  tra la forza trasmessa al solaio portante e quella perturbatrice  $P \omega^2$  è chiamata trasmissibilità ed ha per valore:

$$\frac{\sqrt{1 + \frac{4 n^2 \omega^2}{p^4}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4 n^2 \omega^2}{p^4}}} \quad (10)$$

di cui si constata la dipendenza non solo dal rapporto  $\omega/p$  ma anche del rapporto  $n/p$ .

Nelle applicazioni tecniche, che qui direttamente interessano, si è abituati esprimere l'efficacia del dispositivo attraverso l'attenuazione  $\epsilon$  che esso è in grado di esercitare.

Essa è definita dalla:

$$\begin{aligned} \epsilon &= 10 \log_{10} \frac{1}{T^2} = \\ &= 10 \log_{10} \frac{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4 n^2 \omega^2}{p^4}}{1 + \frac{4 n^2 \omega^2}{p^4}} \end{aligned} \quad (11)$$

(1)  $P$  rappresenta la forza centrifuga per un valore unitario della velocità angolare.

Si è già osservato che, esaminando separatamente il significato della (2) dapprima nell'ipotesi che sia solamente  $\varepsilon = \varepsilon(a)$ , ed in un secondo tempo che sia solamente  $\varepsilon = \varepsilon(x)$ , si ottengono dalla (1.b) per sostituzione delle formule del tipo

$$x = \frac{\varepsilon_0}{c_x} a - \frac{K}{c_x} a^2 + \frac{\varepsilon_0}{c_x} a_0 + \frac{K}{c_x} a_0^2 \quad (2.a.2.1)$$

per  $\varepsilon = \varepsilon_0 - Ka$ ;

$$x = \frac{\varepsilon_0}{c_x} (a e^{-Ka} - a_0) \quad (2.a.2.2)$$

per  $\varepsilon = \varepsilon_0 e^{-Ka}$ ;

con due andamenti ben distinti a seconda se  $K \leq 0$ ;

$$a = \frac{c_x}{\varepsilon_0 - hx} + \frac{\varepsilon_0 a_0}{\varepsilon_0 - hx} \quad (2.t.2.1)$$

per  $\varepsilon = \varepsilon_0 - hx$ ;

$$a = \frac{c_x}{\varepsilon_0 e^{-hx}} + \frac{a_0}{e^{-hx}} \quad (2.t.2.2)$$

per  $\varepsilon = \varepsilon_0 e^{-hx}$ ;

$$a = \frac{c_x + a_0 \varepsilon_0}{\varepsilon_0 - sx^2} \quad (2.t.2.4)$$

per  $\varepsilon = \varepsilon_0 - sx^2$ ; ecc.

Non si conoscono ancora molti risultati che illuminino sperimentalmente in modo sistematico, se pur di riflesso, le caratteristiche dei parametri  $K, h, s$ ; ma adottando per  $\varepsilon_0$  il valore di E. VAN EESTERN ( $\varepsilon_0 = 0,0125$  [persona]/[cm][sec]), si possono congetturare tre serie di valori, una per  $s$  variabile da  $n \cdot 10^{-12}$  a  $n \cdot 10^{-14}$ , un'altra per  $h$ , variabile da  $n \cdot 10^{-7}$  a  $n \cdot 10^{-8}$ , ed una infine per  $K$  pari a  $n \cdot 10^{-6}$  (2).

(2) Le formule sono state verificate, almeno per un controllo orientativo delle ipotesi di lavoro fatte, attribuendo alcuni valori congetturali ai parametri  $c, K, h, s$ . P. es. si è immaginato che da ogni pianerottolo di una scala di sicurezza conformata come i tipi più comuni oggi in uso (ed in cui lo sviluppo di un giro di rampe, da piano a piano, misura m 10 circa) entrino in conto 25 persone ogni 10': ne deriva in tal caso un valore  $c = 4 \cdot 10^{-5}$  pers./sec.  $\cdot$  cm<sub>a</sub>. Adottando sistematicamente ed unicamente per  $\varepsilon_0$  il valore di VAN EESTERN ( $\varepsilon_0 = 0,0125$  pers./cm<sub>a</sub>  $\cdot$  sec.) nel caso in cui fosse p. es.  $K = +1,2 \cdot 10^{-6}$  pers./cm<sub>a</sub>  $\cdot$  sec., cioè nell'ipotesi  $\varepsilon = \varepsilon_0 - Ka$  per cui  $\varepsilon = 0$  a  $m = 104$  alla progressiva  $x = m 14.900$ , il valore critico di  $a$  nella 2.a.2.1) ca-

I valori congetturali di  $K, h, s$ , comunque, introdotti nelle varie formule dette sopra, danno alle equazioni l'andamento delle curve raggruppate in fig. 1. Per le scale che rispondono al tipo 1.a) valgono le formule radunate nelle figure 1a e 1d: esaminandole sembrerebbe persino possibile immaginare che il prototipo della scala più elementare sia stato dettato dall'esigenza primitiva di sfollare una massa  $\mathcal{C}$  di persone, animali e cose lungo una breve scala  $x$ , (cioè in condizioni di costanza di  $\varepsilon = \varepsilon(x)$ ) e che il tipo si sia in seguito perpetuato per isteresi in anonime e sempre più impegnative ripetizioni di sé stesso.

Nell'accezione 2.1 di premessa si era ipotizzata l'invariabilità del tipo del traffico lungo la scala esaminata, tanto per qualità di utenti quanto per caratteristiche

rebbe alla progressiva  $x = m 7450$  con il valore  $a_{cr} = m 51,2$ . Variando  $K$  al valore  $+6 \cdot 10^{-6}$  pers./cm<sub>a</sub>  $\cdot$  sec., cioè nell'ipotesi  $\varepsilon = \varepsilon_0 - Ka$  per cui  $\varepsilon = 0$  per  $a = m 21$  alla progressiva  $x = m 3000$ , si avrebbe un  $a_{cr} = m 10,4$  alla progressiva  $x = m 1496$ , come si può verificare anche calcolando la 2.a.2.1) per punti. Introducendo invece un valore  $K = +1,2 \cdot 10^{-6}$  [cm<sub>a</sub>]<sup>-1</sup> nella 2.a.2.2), la progressiva  $x$  per cui  $a$  assumerebbe nuovamente il valore precedentemente esaminato  $a = m 104$  si allontanerebbe verso il valore  $x = m 29.200$  (invece di  $m 14.900$ ). Analogamente, introducendo sempre nella 2.a.2.2) un parametro  $K = 6 \cdot 10^{-6}$  [cm<sub>a</sub>]<sup>-1</sup>, il valore  $a = m 21$  si otterrebbe molto più tardi e precisamente per  $x = m 5580$  invece che per  $x = m 3000$ ; e per di più si affievolirebbero i limiti della  $x$  non sarebbero numeri limitati poiché la curva 2.a.2.2) può crescere all'infinito (cfr. fig. 1). Interpretando statisticamente la normativa internazionale in materia si è fissato nei calcoli  $a_0 = cm 120$  e ne sono conseguiti i grafici 1a) e 1d) di fig. 1, così espressivi nella loro elementarità. Ma se invece della 2.1) si facesse l'ipotesi 2.t.1), introducendo un coefficiente  $h = 2 \cdot 10^{-7}$  pers./cm<sub>a</sub>  $\cdot$  cm<sub>x</sub>  $\cdot$  sec. (per cui  $\varepsilon = 0$  dopo  $m 600$  di discesa), già a  $m 200$  dall'inizio della scala la larghezza della rampa andrebbe aumentata di 1,5 volte per senza immissioni dai pianerottoli di nuova folla. Con un valore di  $h = 2 \cdot 10^{-8}$  pers./cm<sub>a</sub>  $\cdot$  cm<sub>x</sub>  $\cdot$  sec. (per cui si ipotizzerebbe  $\varepsilon = 0$  dopo  $m 6000$  di percorso) lo stesso incremento della  $a$  (1,5 volte) si avrebbe invece solamente dopo  $m 2000$  di discesa. Nel caso 2.a.1) in cui si immettesse nella scala ad ogni piano la quantità  $c = 4 \cdot 10^{-5}$  pers./sec.  $\cdot$  cm<sub>x</sub>, l'aumento di  $a$  sarebbe più evidente e rapido: dopo  $m 1000$  di percorso (cioè 100 piani circa),  $a$  dovrebbe salire dal

del moto (e si è anche limitata la ricerca al caso equivalente, lungo la scala, ad un moto per filetti di analogia idraulica). Nei casi 2.a.2) e 2.t.2) si sono invece esaminate, se pur sommariamente, le conseguenze dell'introduzione della variabilità delle caratteristiche del traffico sulla oggettiva portata di una scala, ai fini della sua sicurezza ed agibilità quantitativa.

## 2. La scorrevolezza del traffico, $v_s$ .

La scorrevolezza del traffico di una scala dipende tanto dalle dimensioni geometriche di questa ( $a$ ), come sarà detto meglio al par. 3, quanto dalle caratteristiche del vettore del moto che in essa scala avviene ( $t$ ). Sono, questi ultimi due, concetti fisici diversi ed indipendenti (esempio: le pareti di un canale ed il liquido che lo riempie). Indipendentemente dalla

valore  $a_0 = m 1,20$  ad una larghezza di  $m 4,50$ . In un'ipotesi di tipo 2.t.2.1) in cui  $\varepsilon = \varepsilon_0 - hx$ , il variare di  $h$  da  $2 \cdot 10^{-7}$  pers./cm<sub>a</sub>  $\cdot$  cm<sub>x</sub>  $\cdot$  sec. a  $2 \cdot 10^{-8}$  comporterebbe, secondo le formule qui strutturate in via di ricerca preliminare, un minor incremento unitario di  $a$ , e dopo alcune centinaia di metri di  $x$ , addirittura la differenza del doppio: dopo  $m 400$ ,  $a = m 6,80$  nel primo caso;  $a = m 2,50$  nel secondo caso. Ma qualora si fosse verificata, p. es. sperimentalmente, più valida una formula del tipo 2.t.2.4) in cui fosse  $s = 3,5 \cdot 10^{-12}$  (cioè per cui  $\varepsilon = 0$  dopo  $600$  m di  $x$ ), l'incremento di  $a$  sarebbe stato minore che nel caso 2.t.2.1), e quasi del 30%, almeno dopo qualche decina di piani; per  $s = 3,5 \cdot 10^{-14}$  (per cui  $\varepsilon = 0$  se  $x = m 6000$ ), l'incremento di  $a$  sarebbe stato ancor più modesto, dato che  $a$  si raddoppia solamente dopo 40 piani. I casi 2.t.2.2) in cui  $h$  vari da  $h = 2 \cdot 10^{-7}$  [cm<sub>x</sub>]<sup>-1</sup> ad  $h = 2 \cdot 10^{-8}$  [cm<sub>x</sub>]<sup>-1</sup> restituirebbero ad  $a$ , a parità di  $x$ , i valori calcolati nel caso 2.t.2.4) per le prime decine di piani, ed incrementati di valore metà dei precedenti negli edifici con oltre 20 ÷ 40 piani. Comunque i valori di  $a$ , a parità di  $x$ , nel caso 2.t.2.2) sono inferiori a quelli dell'ipotesi 2.t.2.4) e senz'altro sono molto minori di quelli del caso 2.t.2.1). Le curve tracciate in fig. 1 in via ipotetica potrebbero pertanto essere utilizzate per programmare ricerche sperimentali atte a scervere e confermare le ipotesi più vicine alla realtà: cfr. nota 3. Vi sarebbe infine da prendere ancora in considerazione l'insieme di casi con  $c, K, h, s$  negativi, ma ciò sconvolgerebbe in verità l'intero campo dei presupposti fisiologici da cui è partito il presente studio e la disamina relativa meriterebbe un capitolo a parte. Le curve di fig. 1 sono state calcolate con i parametri sopra citati.

larghezza utile della scala ( $a$ ), possono intervenire infatti diversi fattori tecnologici, fisiologici, architettonici i quali possono influenzare il tempo  $t^*$  necessario per percorrere il tratto  $\mathcal{C} \rightarrow x$  di una scala. Siffatti fattori imporranno le caratteristiche architettoniche morfologiche necessarie per garantire la scorrevolezza del traffico di una certa scala, qui detta  $v_s$ , e si dovrà porre attenzione al fatto che  $v_s$  non è indipendente, ma non dipende solamente da  $a$ .

Esaminare il fattore  $v_s$ , per cui

$$[v_s] = \frac{[cm_x]}{[sec]}$$

equivarrà pertanto ad indagare in quali condizioni architettoniche lo spostamento di una corrente di persone (soggetta per ipotesi a particolari ma ben intuibili stati d'animo) avverrà con la minima fatica, il massimo senso di sicurezza e con effettive garanzie del risultato finale ricercato: lo sfollamento rapido di un edificio.

Per tabulare valori specifici  $v_s$  occorrerebbe solamente rilevare sperimentalmente con un sistema di traguardi fotoelettrici e di cronometri (cioè speciali reometri) i passaggi di masse diverse di uomini in manovra su diversi tipi di scale, ma pare in verità che notizie in proposito non se ne incontrino ancora molte sui sentieri bibliografici (3).

Il moto in discesa e quello in salita assumeranno per di più aspetti così sensibilmente differenti che si dovrà sempre pregiudizialmente tenere conto se lo sfollamento di sicurezza avverrà dai piani alti a terra, o viceversa dagli scantinati in emersione.

(3) Non sarebbe invece forse difficile sfruttare a scopo sperimentale i vari impianti già esistenti, tra cui, p. es., meritano particolare menzione i gruppi di scale fisse e mobili in servizio nelle stazioni delle ferrovie metropolitane. Alcune determinazioni sperimentali di tempi di discesa risultano già eseguite in verità, p. es. in Italia, valendosi del grande castello di manovra delle Scuole Centrali Antincendi ed impiegando complessivamente 720 Vigili del Fuoco (cfr. fascic. UNI 3340/0001 maggio 1968 - Commissione Edilizia): il tempo necessario per scendere di un piano è determinato in quelle esperienze fu di 6' (sic).

Si può però, anche solo in questa fase di impostazione del problema edilizio, accennare già ad alcuni spunti per un dimensionamento qualitativo, anche se di grossolana approssimazione, rifacendosi p. es. ad analoghe situazioni già affrontate ed interpretate dalle discipline idrauliche.

$v_s$  è la velocità effettiva sperimentale di sfollamento di quel certo tipo di persone sulla scala in esame ( $v_s = \varepsilon ay$ , in cui  $1/y$  valuta quante persone stanno nell'unità di misura della lunghezza  $x$  della scala:  $[y] = [cm_x]/[\text{persone}]$ ), ma ove  $t^*$  è il tempo massimo concesso per l'evacuazione totale dell'edificio.

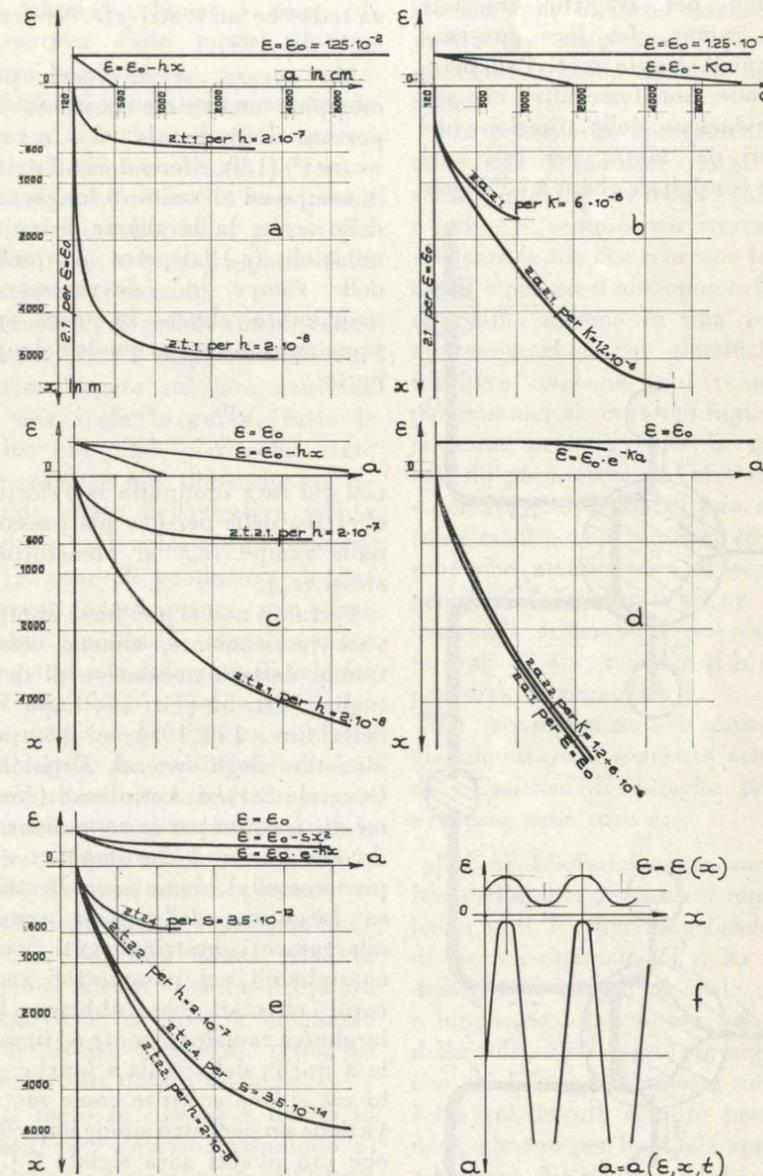


Fig. 1 - Andamento delle curve  $a = a(x)$  nel caso delle ipotesi discriminatorie  $\varepsilon = \varepsilon(a)$ , oppure  $\varepsilon = \varepsilon(x)$ . Le curve sono dedotte introducendo i valori congetturali per  $h, K, s$  proposti in via interrogativa nel testo.

Si può presumere che una relazione fondamentale del moto di una corrente di persone che discendono una scala con velocità uniforme sia del tipo

$$l = v_s t^* \quad (3)$$

ove  $l$  è la massima lunghezza della scala, che entri nel problema;

Quando il percorso  $l$  avvenga su tratti di conformazione architettonica diversa, la (3) diverrà però, come s'è detto

$$l = \sum v_{si} t_i^* \quad (4)$$

ove  $l$  è la massima lunghezza della scala, che entri nel problema;

$v_{si}$  indicano le varie velocità massime di sfollamento veramente ottenibili dei tratti diversamente faticosi e scorrevoli di un percorso di fuga, a cui possono essere concessi tempi massimi di fuga  $t_i^*$ .

Caratteristico è il caso di tutti i pianerottoli di una scala (fig. 2) che costituiscono invero punti anomali nel tragitto tracciato dalle rampe. La loro presenza costituirà sempre motivi di decelerazione, non fosse altro che per la deviazione della direzione dei vettori del moto; per essi sarà ovvio consigliare che se  $\tau$  è l'angolo

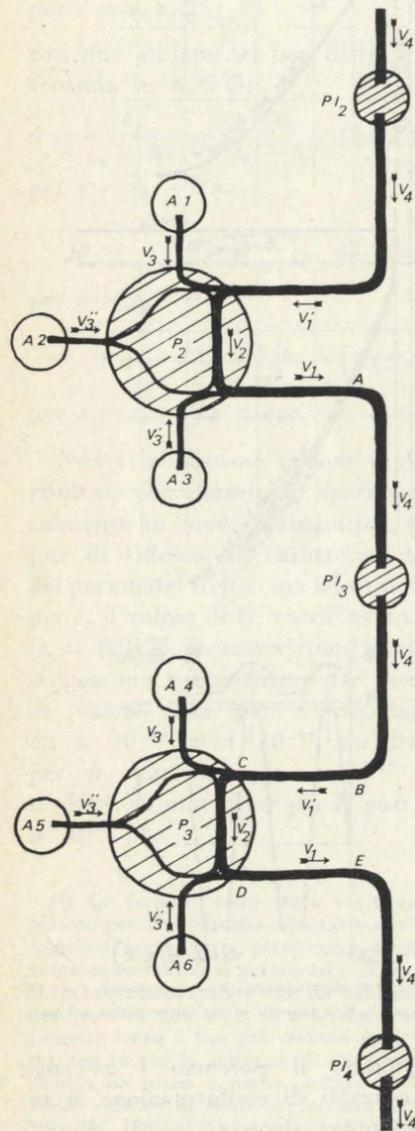


Fig. 2 - Schema funzionale distributivo del traffico lungo una tromba scala. Lungo la tromba di una scala entrano in gioco almeno quattro diversi vettori del moto di sfollamento da un edificio:  $V_1$ , lungo la rampa come da B a C, ecc.;  $V_2$ , sui pianerottoli ai piani, come da C a D, ecc.;  $V_3$ , dai corridoi di accesso ai pianerottoli del vano scala;  $V_4$ , sui pianerottoli intermedi, come da A a B, ecc. I quattro vettori sono diversi per direzione, senso ed intensità e di ciò va tenuto debito conto nello stabilire criteri normativi per le scale di edifici alti.

di due vettori contigui qualsiasi delle componenti del moto generale lungo una scala

$$\vec{V}_h + \vec{V}_k$$

sia

$$\cos \tau \rightarrow +1,$$

come, se pur con altre parole, già dettano, p. es., le norme di sicurezza tedesche sui teatri (cfr. Neufert, o.c.), del 1931.

Ma ancora, se si vorrà, per esempio, mantenere costante la portata della scala  $C + c_x x = \varepsilon a$  (4) (1.b), riferendoci all'unità di tempo ed all'unità di lunghezza della scala, la larghezza dei pianerottoli ( $a_p$ ) rispetto a quella delle rampe ( $a_r$ ) dovrà essere maggiorata, almeno in prima approssimazione, grossomodo nel rapporto

$$\frac{a_p}{a_r} = \frac{v_{sr}}{v_{sp}}$$

con cui sarà diminuita la velocità effettiva delle persone nel passare dalle rampe ( $v_{sr}$ ) ai pianerottoli stessi ( $v_{sp}$ ).

Pertanto non si può forse approvare teoricamente, almeno come freddo dettato normativo di dettaglio, l'art. 51 (Tit. IV, Capo V) della Circ. 15/2/1951, n. 16, del Ministero degli Interni, Divisione Generale Servizi Antincendi (Norme di sicurezza per la costruzione... dei teatri..., ecc.) che impone: « I pianerottoli debbono avere la stessa larghezza delle scale senza allargamenti o restringimenti. Sono consigliabili nei pianerottoli raccordi circolari che abbiano la larghezza radiale costante ed uguale a quella della scala » (anche se in ciò si può scoprire come motivazione un concetto simile a quello che più avanti sarà siglato 2.C). Ci si potrà trovare invece più facilmente d'accordo con la legge D.P.R. 1/12/1956 n. 1688 e con la Circ. Min. dei Lavori Pubblici 26/3/1965 n. 3625 sull'edilizia per le scuole secondarie, in cui si precisa (motivando con l'osservazione che le scale devono costituire delle « possibilità razionali

(4) G. DE MARCHI, *Idraulica*, ed. U. Hoepli, Milano, 1950.

di sfollamento » delle scuole) che i ripiani siano larghi 1,25 volte la rampa di scala. E non si dimentichi mai, in pratica, che i pianerottoli spesso risultano sotto-dimensionati non appena si controlla se in essi è poi geometricamente possibile il transito anche a mobili od attrezzi particolarmente ingombranti.

Ulteriori considerazioni sulla sicurezza del traffico potrebbero essere desunte da altre analogie idrologiche benchè non si possa dimenticare che nell'argomento architettonico è difficile trovare l'equivalente ai concetti idraulici di « carico », « perdita di carico », « forza di gravità », ecc. e che, ancora, non esiste per le scale una vena volumetrica analoga a quella dei tubi dell'idraulica, poichè il traffico pedonale si sviluppa su una banda superficiale in cui la terza dimensione, l'altezza, non ha campo di variabilità e quindi significato geometrico discriminatorio.

Pare intuibile invero che per una massa di persone lungo una scala, qualora la si voglia equiparare ad un liquido in un canale, si possano trovare più adatte delle analogie fenomenologiche con un liquido a densità variabile, a viscosità piuttosto alta perchè tormentato spesso da azioni tangenziali, poco isotropo, ed in cui la differenza della velocità tra punti attigui può assommare a modeste entità, mentre la deformazione d'insieme può essere anche rapida e nervosa.

È noto che l'attrito esterno di un liquido dipende dalla sua viscosità e che è indipendente dalla scabrezza o rugosità delle pareti del contenitore e dalle minute conformazioni geometriche di questo, nel caso dei movimenti regolari (o di POISEUILLE); ma che lo stesso attrito esterno dipende dal grado di scabrezza delle pareti nei movimenti turbolenti. Sempre nel caso del moto per filetti (cioè in regime regolare o di POISEUILLE, come già detto) l'idraulica insegna ancora che esso è favorito non tanto dal fatto di diminuire la velocità del liquido, quanto dal fatto di mantenere piccolo il dia-

metro del tubo. Analogamente in edilizia sarà sempre consigliabile il non allontanarsi dal concetto di dimensionare qualsiasi contenitore (anche una scala quindi) se non come un sistema di un ridotto numero di pedane accostate, ed ognuna molto attentamente dimensionata, in modo che esse risultino forsanco un po' strette, ma mai troppo ampie. Ancora, sarà sempre meglio moltiplicare il numero delle rampe (e ciò anche agli effetti antincendi) piuttosto di allargarle eccessivamente.

Del resto la ricerca di mantenere il moto regolare evitando fenomeni di turbolenza è giustificato dal fatto che i moti turbolenti o agitati si sovrappongono al movimento generale di trasporto del fluido senza dar luogo, da parte loro, ad alcun spostamento della massa lungo la direzione del moto.

Così anche in edilizia si dovrà cercare di evitare, per i percorsi delle scale, andamenti tortuosi, in curva, strozzature, divaricazioni, ecc., che riuscirebbero solo a disturbare, sia fisicamente che psicologicamente, le varie fasi di uno sfollamento: anche solo una deviazione della direzione del moto crea dei fatti interni alla massa con sfasamenti tra fila e fila potenzialmente pericolosi.

Motivi di turbolenza sarebbero, p. es. nel nostro caso: i bruschi cambiamenti di direzione e di tipo di movimento, i bruschi aumenti di sezione (con relativa decelerazione), i bruschi restringimenti di sezione, ecc.; essi disturberebbero qualsiasi moto che fosse di per sé altamente efficace per uno sfollamento intensivo. Vi è però una velocità critica, al di sotto della quale la turbolenza non avviene.

La turbolenza diminuisce le differenze di velocità tra filetto e filetto (quasi che in siffatta situazione ogni individuo fosse ostacolato a correre più in fretta degli altri contigui) ma è soprattutto la portata della scala che con la turbolenza scende a valori medi molto bassi.

Ogni saliente (un pilastro, una

lesena, una vetrinetta, un armadio, ecc.) crea un vortice e quindi una perdita di portata per la conseguente turbolenza.

Anche la folla è sottoposta ad una specie di pressione che agisce al suo interno e che, come quella idraulica, nel caso per es. di una curva (là, verticale, qui, orizzontale) aumenta lungo i raggi di curvatura dalla parte concava verso la convessa.

Siffatta spinta si trasmette da fila a fila sin contro le pareti esterne del vano scala o contro le ringhiere esterne e crea disagi e pericoli nella folla, specie per coloro che sono dalla parte della ringhiera convessa.

Ancora, dovrebbe forse essere sconsigliato il disporre delle ringhiere leggere sul lato convesso di una scala in curva, tutte le volte che esse non sono state preventivamente dimensionate tenendo conto dell'effettiva spinta dedotta dal calcolo suaccennato.

Le zone di confluenza di due correnti teoricamente non sono stabili (e tanto meno quanto maggiore è la differenza di velocità dei due flussi): esse sono perciò i punti più delicati di un condotto e l'angolo di immissione di una corrente nell'altra merita una certa attenzione progettuale se si vuole evitare l'urto ed il mescolamento delle due correnti di persone.

Evidentemente è indispensabile eseguire su una massa reale di persone alcuni esperimenti-pilota lungo scale di diversa lunghezza e di diversa larghezza, prima di insistere in queste analogie.

Il moto in discesa e quello in salita, per esempio, assumono aspetti così sensibilmente differenti che se ne dovrà tener conto in modo pregiudiziale a seconda se lo sfollamento di sicurezza avverrà dai piani alti o viceversa dai piani interrati.

Comunque si potrebbe forse già accennare non fosse altro che riconoscendogli il valore di un problema edilizio, anche al senso di sicurezza che deve essere garantito alla folla che usa una scala

per salvarsi. Tutti i fattori psicofisiologici che possono favorire siffatto stato d'animo (p. es. le schematizzazioni geometriche simmetriche) devono essere ben presenti alla mente di un progettista, poichè dalla loro concomitante azione dipende la realizzazione in pratica delle ipotesi teoriche sul traffico, più o meno azzardatamente ora congetture per via matematica e con analogie idrauliche.

In generale lo spostamento di una folla di persone lungo una scala, qualora avvenga con le « pedine » sempre correttamente allineate in file che scorrono lungo ideali « pedane » antropomorfe, dovrebbe, almeno in una prima approssimazione che giustifichi le intuitive analogie (qui proposte per le scale) al moto dei liquidi in corrente, però avvenire in modo tale da permettere di calcolare la « portata » integrale di una scala come misura della quantità di persone che attraversano la sezione generica A della scala in un dato intervallo di tempo t, cioè con la formula  $C + c_x x = \varepsilon a$  (1.b), già proposta al paragrafo 1.

Di conseguenza, si potrebbe già impostare il seguente schema di « Casistica di dettaglio per la sicurezza nelle scale »:

2.A) L'affaticamento muscolare dell'utente deve essere minimo (sono noti i criteri ergofisiologici di ricerca ottimale (5) della pendenza delle rampe di scale corte e lunghe, studiati finora nel caso della sola salita, però); si segnala che nei conteggi di questa nota si è fin qui dovuto sempre prescindere, almeno per l'attuale approssimazione dei risultati, dal tempo diverso che sarà invece necessario per percorrere la prima e l'ultima rampa di una lunga scala a qualsiasi tipo di utente; « rampe »

(5) A. GUACCI, *Scale con alzate e pedate variabili*, in « *Tecnica Italiana* », Trieste, 6, 1950; ID., *Proposta di uno scalino tipo*, Ibidem, 6, 1953; W. DÖLL und G. LEHRMANN (K. W. J.), *Tafeln über Abhängigkeit des Energieverbrauchs von der Treppenform*, Deutsche Bauzeitung, Berlin, 1934.

continue per la discesa con pendenze circa dell'8% sarebbero comunque sempre preferibili alle scale, per i percorsi di fuga.

2.B) Le variazioni di velocità interne alla massa devono essere impedito con ogni cura, in modo da evitare tutti quegli atti rotazionali che possano indurre fenomeni di tipo turbolento nell'accezione idraulica, a scapito della velocità  $v_s$ . La folla è comprimibile e non si comporterà esattamente come un liquido reale, e men che meno ideale, ma è intuibile che, detto  $\tau$  è l'angolo di un vettore  $\vec{V}_3$  (che deve incanalare un incremento  $c_3$  di persone nel flusso  $C_1$  già scorrente nella scala con vettore di moto  $\vec{V}_1$ ) rispetto a  $\vec{V}_1$ , se  $\cos \tau \neq +1$ , ogni  $c_3$  creerà dei moti rotazionali di forte disturbo allo sfollamento. Sono perciò da eliminare: le contrazioni di sezione per sporgenze, ostacoli, ecc.; gli sfoghi di sezione con angoli morti; gli incroci planimetrici delle linee di fuga; gli inserimenti nella corrente del traffico con angoli  $\tau$ , per cui  $\cos \tau$  sia  $\neq +1$ ; tutti i presumibili motivi di sbandamento degli utenti nel loro cammino, ecc.

2.C) Le variazioni della larghezza utile della rampa  $a$  di una scala dovranno essere lente e contenute in gradualità molto modeste: sono noti infatti gli effetti di turbolenza che si innescano con estrema facilità in un canale idraulico a sezione rapidamente crescente. Dato che i canali di flusso di una scala non possono mai avere sezioni lentamente decrescenti (il che però stabilizzerebbe le caratteristiche del moto a filetti), la divaricazione delle pareti, su brevi tratti di scala dovrebbe essere insensibile. Era esatta quindi l'indicazione della Legge D.M. 27/5/1940 n. 875 che prescriveva la posa di un corrimano a metà delle scale per rampe più larghe di m 2,00: le pedane di scorrimento, per essere sfruttate con la massima  $v_s$ , devono sembrare un po' attillate. È da notarsi che i concetti di sicurezza fin qui

adottati per le comunicazioni verticali, possono venire adottati anche, se pur con speciali limitazioni, alle vie di comunicazioni orizzontali. Bastano, per chiarire quanto detto, pochissimi cenni: sono noti alcuni pretesti architettonici per allargare i corridoi dei palazzi per gli uffici, nel verso dell'aumento della portata, ma vi sono esempi in cui la divergenza è troppo elevata e quindi in cui la  $v_s$  diverrebbe pericolosa agli effetti della  $\varepsilon$ , su tragitti molto lunghi.

2.D) Poiché la sicurezza si acquista soprattutto con un certo tipo di allenamento che abbia familiarizzato l'uomo ad una ripetizione molto elevata, quasi automatica e fiduciosa, di certi gesti, occorrerà che nella scala siano ridotte al minimo le perturbazioni per fatti eccezionali ed incidentali. A ciò possono contribuire favorevolmente:

2.D.1) Artifici per eliminare la sdruciolevolezza dei materiali usati come rivestimento delle pedate dei gradini e dei capiscala (bande di materiali abrasivi, strisce luminose, lastre ruvide, ruvidità in genere dei materiali, ecc.), salvo una riserva agli imbocchi delle scale (non sulla loro sdruciolosità certamente, quanto sulla loro scorrevolezza);

2.D.2) Contrasto ottico dei lembi terminali delle pedate guardati sullo sfondo della tinta delle pedate più basse (bande colorate e catarifrangenti, a forte illuminazione o fosforescenti, contrasti di tinte alternate sulle pedate contigue, ecc.);

2.D.3) Costanza delle caratteristiche geometriche morfologiche degli elementi costituenti le scale (rampe, gradini, ecc.). A tale scopo è già stata redatta una tabella ove si possono notare almeno verso quali prescrizioni sia orientata l'attuale normativa<sup>(6)</sup>. Vanno evitati lungo una scala

<sup>(6)</sup> Cfr. V. BORASI, *Per una schematizzazione conformativa...* già citato in nota 1.

tutti i motivi di incertezza decisionale, mentre la simmetria è utile poiché favorisce il senso di sicurezza;

2.D.4) Non è forse detto che una alta scorrevolezza, quasi una certa scivolosità delle pareti verticali del vano scala riducano al minimo gli effetti dell'attrito esterno sulla coesione della folla in movimento; anzi esso attrito può essere utile alla  $v_s$  se diminuisse le probabilità di incidenti casuali;

2.D.5) Tutti i diaframmi (porte, passaggi selezionatori, per brusche variazioni di sezioni tipo: sdoppiamenti, immissioni da corridoi, ecc.) dovrebbero essere sovradimensionati per tenere conto della contrazione della vena fluida a valle dell'orifizio, nè si può dimenticare che in detti casi la velocità di efflusso a valle del diaframma verrebbe fortemente diminuita da fattori indipendenti della  $v_s$  massima caratteristica di un certo tipo di scala (e chiunque ha già sperimentato siffatta situazione all'uscita di una chiesa o di un edificio per pubblici spettacoli con rappresentazioni ad orari cadenzati);

2.D.6) In base a quanto detto sopra, una porta d'uscita di 4 metri ha una portata maggiore di 2 porte di m 2, ma una scala in cui confluiscono due scale larghe 2 m ciascuna deve essere più larga di m 4 per avere delle corsie di scorrimento veramente funzionanti e per smaltire la portata proveniente dalle due scale a monte.

2.E) Una scala che funzioni perfettamente dal punto di vista reologico distributivo come via di fuga, di per sé offre gravi inconvenienti agli effetti della prevenzione dagli incendi, in quanto essa costituisce anche una canalizzazione, quasi canna di camino, per i fumi e le fiamme.

2.F) Se la via di sicurezza per la folla è composta da più vani scala, può però ancora sorgere l'inconveniente di cui al punto 2.E)

per il ripercuotersi dei pericoli ivi citati e su tutti i vani scala, qualora avvenga l'innescò di fiamme e fumi in tutta la rete dei percorsi del nodo di comunicazione anche solo a causa di uno dei suoi elementi costitutivi<sup>(7)</sup>.

2.G) Tutte le rampe a gradini sono per loro natura morfologicamente pericolose per l'alta  $v_s$  che la folla può raggiungere in discesa e l'alta percentuale di incidenti, anche catastrofici, che vi possono accadere<sup>(8)</sup>.

2.H) La velocità di fuga  $v_s$  in discesa lungo una scala è temibile se non è contenuta in valori controllati logicamente (nel caso di sbalzi di valore a limiti troppo elevati è altissima anche la probabilità di previsione di incidenti); un pubblico che si accalca sfolla un locale molto meno rapidamente che se uscisse con velocità ridotta, ma costante, ed un procedere molto fluido.

2.I) Percorsi a  $v_{si}$  leggermente diversa (corridoi, rampe in discesa, ripiani, rampe in salita) opportunamente alternati potrebbero forse ottenere la massima  $\varepsilon_s$  media, se riuscissero a minimizzare le variazioni pulsanti  $\pm \Delta \varepsilon_s$ .

### 3. Le capacità ricettive della sezione del canale di flusso, $1/\gamma_0$ , ed i diagrammi della soglia di pericolosità.

Nelle formule (1) è già stato introdotto il parametro  $\varepsilon$ ; nel caso  $\varepsilon = \varepsilon_0$  di prima approssimazione ( $\varepsilon$  ha le dimensioni, prescin-

<sup>(7)</sup> A. TOSI, *Tecnologia antincendi nelle costruzioni*, A. Vallardi ed., Milano, 1950. Si sottolinea il particolare interesse informativo di quest'opera per la rara raccolta di dati sperimentali, tuttora elaborabili anche per fini diversi da quelli assunti dall'Autore nel testo. Cfr. anche S. CUOMO, *Resistenza al fuoco delle strutture e sua determinazione*, Ed. di Protezione Civile EPC, Roma, 1968. È ormai in vigore in materia la Norma internazionale «*Projet de Recommandation*» ISO/PR 1060: «*Essais de resistance au feu des elements de construction*» la quale ha già ispirato la *Recomm. ISO/R 834* - 1968.

<sup>(8)</sup> Cfr. nota 7.

dendo dall'altezza del canale di flusso della scala  $l_h$ , di un numero di persone su un tempo ed una larghezza di rampa:

$$[\varepsilon] = \frac{[\text{persone}]}{[\text{cm}_a][\text{sec}]}$$

può essere utile usare l'inverso di  $\varepsilon_0$ ,  $1/\varepsilon_0$ , nella forma  $1/\varepsilon_0 = 1/\gamma_0 t^*$  (5) secondo i riferimenti normativi già sopra proposti. Le dimensioni di  $1/\gamma_0$  sarebbero perciò:

$$\left[ \frac{1}{\gamma_0} \right] = \frac{[\text{cm}_a]}{[\text{persone}]}$$

dove  $1/\gamma_0$  indicherebbe la capacità ricettiva della sezione terminale del canale di flusso.

Poiché il tempo  $t^*$  di sfollamento di un edificio viene determinato, caso per caso, dalla imposizione di esigenze diverse e di varie particolarità tecnico-urbanistiche, (come è stato, del resto, già visto al paragrafo 2) il coefficiente  $1/\gamma$  (che sia riferito cioè ad un tempo unitario) diviene la *caratteristica geometrica della recepitività di traffico* di ogni sezione  $A$  di una scala. In esso si legge infatti la schematizzazione conformativa della geometria del canale di flusso per la corrente umana che scende dalla scala, ma in maniera ancora indipendente dalla lunghezza del percorso ( $x$ ) e dalla sua scorrevolezza  $v_s$ . Nel caso di  $\varepsilon = \text{cost}$ , sarà  $\gamma = \text{cost}$  e perciò ci si potrà ridurre, in un primo tempo, a studiare solamente  $\gamma$  nella sezione terminale, ed a citare unicamente il valore  $1/\gamma_0$  perchè già sufficiente ad una pregiudiziale valutazione della capacità effettiva di smaltimento del traffico totale da parte di una scala, evidentemente rimandando all'esame di  $t^*$  l'ulteriore indispensabile giudizio sull'effettiva funzionalità dell'edificio servito dalla scala stessa.

Per discutere i valori di  $1/\gamma_0$  fortunatamente possono essere sufficienti rilevamenti sperimentali di natura antologica, esaminando per esempio la variazione di  $1/\gamma_0$  nei più reclamizzati modelli di architettura moderna e purchè si

sia attenti ad abbracciare i diversi aspetti della attuale tipologia architettonica rispettandone l'originalità urbanistica. A questo scopo è stata pertanto elaborata una statistica, i cui principali risultati sono riassunti in calce alla fig. 3. Il diagramma di fig. 3 rielabora i sottostanti dati (computati con le convenzioni citate in nota 9) forse in modo più espressivo, collocando

<sup>(9)</sup> 9.1) È indicato solamente il nome dell'architetto a cui viene attribuita la paternità della composizione architettonica dell'opera. Nella bibliografia appuntata dall'A. si potranno rintracciare gli apporti specialistici ed i nomi degli architetti associati o dei collaboratori. 9.2) È riportata la sigla con cui l'edificio è più comunemente rintracciabile nella bibliografia specializzata, con un brevissimo accenno al «tipo» dell'edificio ed alla sua destinazione, e l'arco degli anni che vanno dalla progettazione alla realizzazione dell'opera.

9.3) La tipologia architettonica segue il «Programma di insegnamento del Corso di Architettura Tecnica II al Politecnico di Torino». 9.4) Si conteggiano solamente i piani superiori al piano terreno e inferiori allo stesso, se destinati all'effettiva occupazione da parte di folti gruppi di persone. 9.5) Si sommano senza discriminazione: scaloni, scale padronali e principali, scale di servizio, interne od esterne al fabbricato, anche se solitamente non accessibili al pubblico. 9.6) Si computa la somma delle larghezze di una rampa di tutte le scale conteggiate in 9.5. La misura è rilevata con l'approssimazione del 10%. 9.7) Si calcola il numero medio di persone che può essere congetturato ospitabile in ogni piano conteggiato in 9.4. Per le case di abitazione il numero dei posti letto è stato incrementato di 1,5 volte; per i palazzi per gli uffici ed il commercio è stato previsto un tasso di occupazione di 5 mq di area vendibile per ogni impiegato, comprendendo in detta cifra anche l'incremento per ospiti e clienti. Per alberghi, collegi, ospedali vengono trascritti i numeri dei posti letto. Per stabilimenti industriali scuole e teatri si citano i posti di lavoro o «a sedere». La misura è congetturata forse con l'approssimazione del 10%. 9.8) È una verifica del prodotto ragionato della cifra 9.4 per la cifra 9.7: forse la misura è congetturata con l'approssimazione del 20%. 9.9) Il fattore  $1/\gamma_0$  è ottenuto come rapporto ragionato della cifra 9.6 diviso la cifra 9.8, ed è quindi espresso con un'approssimazione non superiore al 20%. Il fattore  $1/\gamma_0$  indica quanti centimetri di ogni scala esistente nell'edificio sono usufruibili dal numero massimo di persone che si può pensare debbano improvvisamente evacuare il più rapidamente possibile tutto il fabbricato. I fattori elencati in tabella (in ordine di valori decrescenti) possono fornire la traccia per calcolare i fattori teorici  $1/\gamma_0$  ottimali per i vari tipi architettonici di edifici.

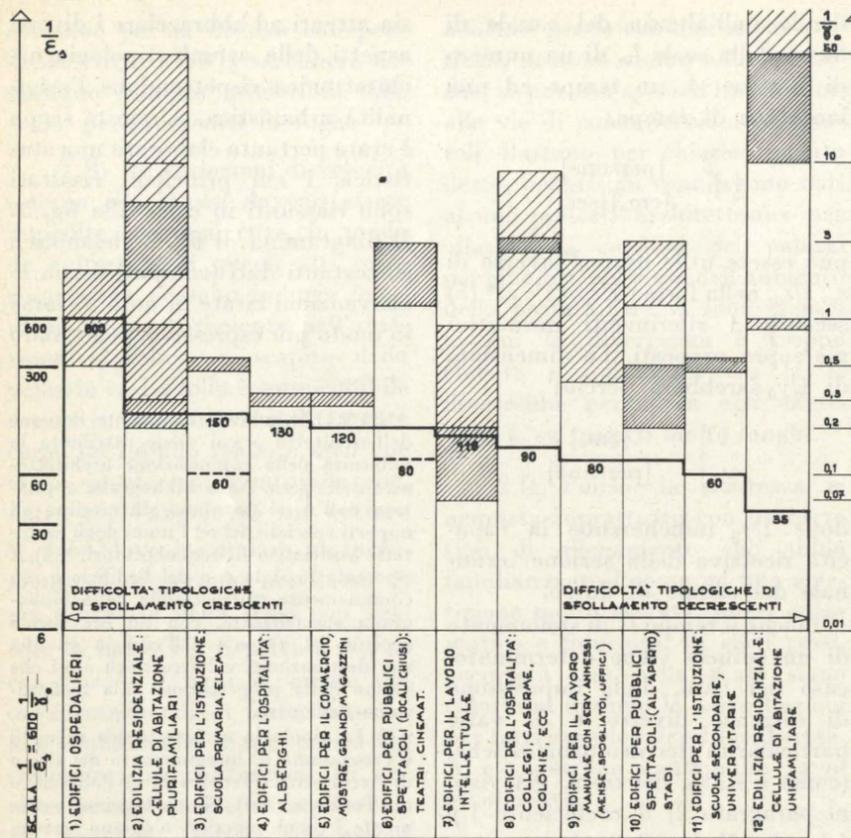


Fig. 3 - Raffronto dei valori sperimentali dell'indice  $1/\gamma_0$  con i valori teorici  $1/\epsilon_s$  in diverse tipologie edilizie per la ricerca della soglia di pericolosità.

Il diagramma è semilogaritmico, nel senso che le ordinate sono tracciate in scala logaritmica, mentre le ascisse non hanno significato di progressione numerica, bensì solo di un certo ordinamento. Non possono acquistare alcun significato pertanto interpolazioni ed estrapolazioni grafiche. Il rapporto nella scala delle ordinate  $\gamma_0/\epsilon = 600''$  è puramente indicativo; esso permette però di verificare immediatamente i casi in cui  $R = 1$  per  $t^* = 10'$  (cioè  $600''$ ). La curva continua indaga se la soglia di pericolosità  $1/\epsilon$  possa essere ancorata ad un numero fisso o debba variare secondo la tipologia distribuitiva. Nel primo caso in media è forse accettabile un numero superiore, ma non di troppo, all'unità. I tratteggi si riferiscono ai valori tabulati sperimentalmente e citati qui appresso ed indicano con campiture più o meno fitte per quali valori di  $1/\gamma_0$  si siano riscontrate statisticamente le maggiori frequenze negli esempi reali. Cfr. nota 9 per le convenzioni di calcolo.

sulla sinistra la scala di rappresentazione delle  $1/\epsilon_s$ , sulla destra quella di  $1/\gamma_0$  e tra di esse una spezzata diagrammatica la quale rappresenta la soglia di pericolosità per  $t^* = 600''$ . Si può infatti osservare per es. che:

3.A) I valori di  $1/\gamma_0$  variano in un campo estremamente vasto e disordinato, nè le leggi italiane vigenti sembrano porre ordine con criteri normativi unitari e razionalizzanti la casistica sperimentale della attuale schematizzazione conformativa delle scale.

3.B) Forse ai vari argomenti della tipologia urbanistica debbono anche corrispondere valori diversi di  $1/\gamma_0$ , poichè è presumibile, anche solo intuitivamente, che il parametro  $\epsilon_s$  ( $\epsilon_s = v_s/ay$ ) diminuisca un poco nel caso che una fuga avvenga da un edificio per uffici invece che da un albergo o da un palazzo, o da una scuola, o da un locale per pubblici spettacoli o da un ospedale; ed è chiaro che i valori del parametro  $1/\gamma_0$  non possono essere indipendenti dai correlativi valori di  $1/\epsilon_0$ , come si è già visto in (5), a parità di valori  $t^*$ ; pare evidente infine, in prima approssimazione, che, comunque, i valori  $1/\gamma_0$  non dovrebbero scostarsi molto da quei numeri caratteristicamente più frequenti come media matematica nel diagramma. Tra questi si può individuare chiaramente l'unità,

come indice di un valore minimo  $(10)$ ;

3.C) Il problema del dimensionamento di una scala in base al « flusso di sfollamento » non può però interessare astrattamente un certo settore del ventaglio della tipologia architettonica piuttosto di un altro, poichè esso riguarda solamente quegli edifici che, forsanche indipendentemente dalla loro destinazione, concentrino in modo qualsiasi un elevatissimo numero di persone sulla stessa scala. Quando poi la tipologia sceglie alcune strutture quasi come proprio modello (per es. i palazzi per gli uffici, che sembrano prediligere i grattacieli) allora si riscontra una tale insistenza statistica di casi patologici in un certo tipo distributivo da segnalarlo quasi come patogeno in sè, per definizione, il che invece non è teoricamente ammissibile. Per esempio il palazzo degli uffici della Soc.

(10) La Commissione Edilizia dell'U.N.I. ha già posto allo studio una Norma riguardante i requisiti di minima resistenza al fuoco degli edifici scolastici. Indipendentemente dal testo definitivo che attende ancora il vaglio e le conferme sperimentali, merita citare l'iter configurativo subito dalla Norma stessa. La « resistenza di sicurezza di un intero edificio al fuoco » fu definita come funzione sia delle superfici servite dai percorsi di sfollamento fissate dai Regolamenti, che degli indici di abitabilità (in relazione alle diverse destinazioni d'uso), che del numero dei piani. Siffatta durata minima ( $T$ ) deve essere pari alla somma del tempo necessario per l'allontanamento degli alunni dall'edificio, e del tempo medio prevedibile occorrente per l'intervento dei Vigili del Fuoco (i due tempi si equivalgono). Furono proposte due formule: una prima del tipo  $T = K + \alpha p$ , ove  $K$  riporta i carichi di incendio (in  $l'$ ) definiti dalla Cir. n. 91 del 14/9/1961, del Min. Interni, Dir. Gen. Servizi Antincendi (min. 15', media da 30' a 60', ripartiti per « classi »), ed ove  $p$  indica il numero dei piani dell'edificio ed  $\alpha$  un coefficiente differenziato secondo una tipologia architettonica attenta alla destinazione, all'altezza, ecc. di ogni edificio, con valori variabili da 0 a 7 o da 4 a 10; ed una seconda formula del tipo  $T = q + 5 p$ , ove  $q$  è un tempo (costante) di allarme e raduno sui pianerottoli (e valutato pari a 30'). Da quest'ultima formula conseguirebbe pertanto una preferenza normativa indifferente alle distinzioni tipologiche distributive degli elementi architettonici in esame. Cfr. nel testo anche il comma successivo, siglato 3.C.

Olivetti a Ivrea ha circa lo stesso volume costruito del grattacielo Pirelli a Milano, ma i valori di  $1/\gamma_0$  nei due casi sono ben diversi, pur appartenendo entrambi gli edifici allo stesso « tipo » architettonico distributivo, che in verità non è teoricamente legato ad alcuna volumetria preconcetta.

3.D). Il problema aperto ha in sè le caratteristiche della modernità, ma lascia trapelare fenomeni di isteresi immaginativa e normativa. Sintomatico è, infatti, il caso del Comune di Milano che nel Regolamento Edilizio del 1912 (11), prevedendo una scala ogni 300 mq di pianta di piano tipo dell'edificio, si garantiva un  $1/\gamma_0 = 0,9$ , mentre oggi con l'esplosione in verticale dei grattacieli del Centro Direzionale, si trova in mano, a parità di norma, un valore di  $1/\gamma_0$  ridotto a  $0,1 \div 0,2$ .

3.E) In diversi casi sono facili le raccomandazioni per aumentare il valore di  $1/\gamma_0$  ai limiti teorici. A parte l'ovvia considerazione che si dovrebbero allargare di quel poco che basta le rampe progettate, tutte le volte che il calcolo lo esige, può capitare (per es. come in alcuni P.P. del programma di attuazione a Torino della Legge n. 167 del 18/4/1962), che l'area coperta, da un lato imposta in sede urbanistica, sia esuberante rispetto alla combinazione planimetrica di un certo numero limitato e prefissato di alloggi, vincolati, da un'altra parte, ma sempre per legge, a certe dimensioni massime: la differenza di area, nelle case a torre di 10 e più piani, potrebbe, in siffatti casi, essere indirizzata all'introduzione di una seconda scala, come già qualche architetto ha spontaneamente provveduto a fare (12). Con sem-

(11) Regolamento Edilizio del Comune di Milano (L. 12/7/1912, n. 866 e succ. aggiorn., 1938, ecc.), Capo VII, art. 62. Il Regolamento Edilizio di Roma, art. 57, prescrive invece la presenza di una scala ogni 350 m<sup>2</sup> di superficie abitabile.

(12) Comune di Torino, Zona E/11, Lotto n. 9 (progetto arch. B. Abbate, G. Fasana e T. Trabucco).

plici interventi si potrebbe proporre anche in Italia una maggiore attenzione a che tutte le scale di servizio di un palazzo possano entrare in gioco in caso di sfollamento, come per es. già prevedono le norme d'esercizio alberghiero nord-americano (ferma, ben inteso, la riserva che agli effetti antincendio l'azione antifumo di tiraggio di un solo vano scala può annullare l'efficacia di un intero complesso di scale).

Davanti a certi valori di  $1/\gamma_0$  così bassi da non poter lasciare indifferente l'operatore, non si può però che suggerire un generale ripensamento morfologico della schematizzazione conformativa di tutti i palazzi a torre e del problema della loro sfollamento di emergenza.

Le cronache puntualmente sottolineano che in caso di incendio o di altre calamità non ancora catastrofiche al momento iniziale, l'evacuazione degli edifici (tanto per l'ospitalità ed il lavoro, che per i pubblici spettacoli o l'abitazione: la tipologia caratterizza ma non esclude le possibilità di infortuni) si trasforma quasi sistematicamente in una ecatombe con tali caratteri di inevitabilità per cui spesso ci si rassegna a rinunciare ad individuare le responsabilità remote, accontentandosi di punire le colpe occasionali.

Poichè le vie di sfollamento non sono in ultima analisi che dei canali di flusso, conformate sul tipo di corridoi e sul tipo di scale (di cui queste ultime sono le più pericolose), occorre che gli operatori edilizi affrontino con rinnovata attenzione i problemi della schematizzazione morfologica, distributiva, dimensionale delle vie di fuga dagli edifici nel quadro più generale dell'individualità della forma architettonica delle scale fisse, proprio con lo scrupolo di voler colmare una lacuna morale e sociale.

Nel frattempo l'affollamento degli edifici già costruiti potrebbe

Confronto dell'indice  $1/\gamma_0$  in alcune note opere di architettura moderna.

Edifici sviluppati ad un piano f.t. (a varia destinazione),  $\infty$ ; case d'abitazione a due piani f.t. (cassette a schiera), 50-10; case d'abitazione a quattro piani f.t. (da 2 a 4 alloggi per piano), 7,6-2,7; case d'abitazione a cinque piani f.t. (idem), 5,7-2; case d'abitazione a dieci piani f.t. (id.), 2,3-0,5; P. LINGERI, L. ZUCCOLI, Casa multipiani al Q.T. 8 Milano (case popolari con distribuzione a ballatoio e scale enucleate), 0,4; LONDON COUNTRY COUNCIL - appartamenti a Roehampton, London, 1958 (4 alloggi per piano), 1,4; LONDON COUNTRY COUNCIL - *Maisonettes* at Longborough Road, London, 1957 (prototipo), 0,9; CHAMBERLIN, POWELL, BON - appartamenti a Golden Lane, London, 1957, 0,5; DENYS LASDUN, Cluster blok at Bethnal Green, London, 1959, 0,3; LONDON COUNTRY COUNCIL - *Maisonettes* at Roehampton, London, 1958, 0,3; F. O. HAYES - *Maisonettes* at Camberwell, London, 1959, 0,2; L. MORETTI, E. ROSSI - Casa albergo a Milano (alloggi micro), 0,3; [RUBEROID-HOUSING AND REDEVELOPMENT BOARD OF THE CITY OF NEW YORK] *Tower East*, (90 E 72 St.) New York, 1963, 0,21; [RUBEROID-HOUSING AND DEVELOPMENT BOARD OF THE CITY OF NEW YORK] [ALCOA-WEBB & KNEPP] *Park West Village*, New York, 1963, 0,24; [ALCOA] I. M. PEI ASS. ARCH., KESSLER & SONS ASS. ARCH., *Kips Bay Plaza*, New York, 1961-63, 0,24; LE CORBUSIER, *La Turotte* (convento P.P. Domenicani) 1953-9, 8,8; LE CORBUSIER - Chandigarh (Punjab), *Le Secrétariat*, 1953 (Ministero), 0,3; LE CORBUSIER - *Palais de l'Association des Filateurs d'Ahmedabad*, 1954 (palazzo uffici), 0,2; LE CORBUSIER - *Les Unités d'Habitat de grandeur conforme*, 1953-55 (Nantes), 0,2; LE CORBUSIER - *L'Unité d'Habitat a Marseilles*, 1952, 0,2; LE CORBUSIER - *Manufacture de St. Diè*, 1946-51 (stabilimento), 0,4; LE CORBUSIER - Palazzo dell'ONU a New York sull'East River, 0,06; R. MOROZZO DELLA ROCCA - Casa a Coronata, Genova, 1957-59 (casa popolare), 0,8; R. SEVERINO - Colonia Scuola Montecchiario della Italsider a Cesana Torinese, 1959-60, 2,9; A. VITELLOZZI, P. L. NERVI - Palazzetto dello Sport di Roma, 1957 (stadio coperto), 0,5; P. L. NERVI - Palazzo dello sport a Roma, 1958-60 (stadio coperto), 0,2; F. ALBINI, F. HELG - *La Rinascente*, Roma, 1959-61 (grande magazzino), 0,3; L. B. BELGIOIOSO, E. PERESSUTI, E. N. ROGERS - *Torre Velasca*, Milano, 1956-57 (palazzo per alloggi e uffici), 0,2; M. BEGA - *Grattacielo « Galfa »*, Milano, 1957-9, (palazzo per uffici), 0,1; G. PONTI, A. FORNAROLI, A. ROSSELLI, G. VALTOLINA, E. DELL'ORTO, A. DANUSSO, P. L. NERVI, Il Centro Pirelli, 1956-9 (palazzo per uffici), 0,16; G. A. BERNASCONI, A. FIOCCHI, M. NIZZOLI - Soc. Olivetti & C. Spa, Milano, 1954 (palazzo per uffici), 0,6; A. FIOCCHI, G. A. BERNASCONI, M. NIZZOLI - Soc. Olivetti & C. Spa, Ivrea (To) 1960-3 (palazzo per uffici), 0,5; H. HENTRICH, H. PETSCHNIGG - *Badischen Anilin & Sodafabrik A. G.*, Ludwigshafen am Rhein, 1954-57 (palazzo per uffici), 0,07; H. HENTRICH, H. PETSCHNIGG - *Büro und Verwaltungsgelände der Phonix-Rheinrohr A. G.*, Düsseldorf, 1957 (palazzo per uffici), 0,07; MIES VAN DER ROHE, P. JOHNSON - *Joseph E. Seagram & Sohn*, New York City 1955-58 (palazzo per uffici): primo blocco di 10 piani f.t., 0,07; blocco torre di 39 piani f.t., 0,05; MIES VAN DER ROHE - *Uffici Bacardi* a Città del Messico, 1958-61 (stabilimento), 2,7; SKIDMORE, OWINGS, MERRILL - *Lever Brothers*, New York City, 1951-2 (palazzo degli uffici), 0,17; SKIDMORE, OWINGS, MERRILL - *Inland Steel Company*, Chicago, 1958 (palazzo per uffici), 0,07; SKIDMORE, OWINGS, MERRILL - *Crown Zellerbach Corporation*, New York, St. Francisco, U.S.A., 1957-59, (palazzo per uffici), 0,10; SKIDMORE, OWINGS, MERRILL - *Union Carbide Corporation*, New York, 1957-60 (palazzo per uffici): primo blocco, dal p.t. al 15° piano, 0,13; blocco torre di 52 piani f.t., 0,2; M. BREUER, Palazzo per uffici *Van Leer*, Amstelveen (ND), 1957-58, 2,7; M. BREUER, B. ZEHRFUSS, P. L. NERVI, Sede del Segretariato dell'U.N.E.S.C.O. a Parigi, 1958, 0,2.

NORMATIVA ITALIANA:

Gestione Case Lavoratori (GES. CA. L.) (art. 23/c L. 14/2/1963), case a torre, 1; Regolamento edilizio COMUNE DI MILANO (L. 12/7/1912), 0,9; ID., per le deroghe in altezza sino a H = m 60 (D. Pod. 27/8/1940), 0,35; Legge 27/12/41 n. 1570, art. 28a e Circ. 15/2/1951 n. 16 Min. Interni: *Norme di sicurezza per i teatri...* con platea a quota  $\leq + 3,50$ , 1,60;  $\leq + 14,00$ , 1,85;  $\leq + 18,00$ , 2,40;  $\leq 18,00$ , 3,00; per le tribune degli stadi, 0,24; Decreto C. G. 20/7/1939 e norme tecniche per le case di cura private (ospedali), nulla; Legge 25/5/1940, n. 875 (abrogata) sull'edilizia scolastica per l'istruzione primaria, 0,50; Legge 1/12/1956, n. 1958 (vigente) sull'edilizia scolastica per l'istruzione primaria, 0,50; MINISTERO LL. PP. - *Progetto EPA 174* (M = cm 10) (case popolari), 0,70; (impianti) scale mobili unificate ( $v_s = 50$  cm/sec), 0,021  $\times$  3600 = 75,6; Circolare Min. LL. PP. 13/11/1941 n. 45 sull'edilizia scolastica per le scuole medie, 0,65; - Circolare Min. LL. PP. 26/3/1965, n. 3625 per le scuole medie, 0,50.

essere controllato con la formula  $N_{amm} = RN$ , ove

$$R = \frac{\varepsilon_s}{\gamma_0} t^* \quad (6)$$

$R$  sarebbe quindi un coefficiente di verifica <sup>(13)</sup>, da applicare la numero  $N$  massimo di persone congetturato geometricamente ospitabile nella situazione più sfortunata nell'edificio in esame, ai piani superiori ed inferiori al terreno, ed in cui  $\varepsilon_s$  è la velocità di sfollamento sperimentale per unità di larghezza di rampa (con le dimensioni [persone]/[cm<sub>a</sub>][sec]);  $1/\gamma_0$  è la caratteristica geometrica della scala come canale di flusso (tab. 3);  $t^*$  è il numero di secondi ammessi, in base a considerazioni di prudenza e di sicurezza, per l'evacuazione di un fabbricato, anche in considerazione del tipo distributivo architettonico a cui l'edificio appartiene. Un valore di  $\varepsilon_s$  è stato misurato da E. VAN EESTERN (ed è riportato dal NEUFERT, o.c.), nel caso dello sfollamento di uno stadio sportivo, pari a 0,0125 pers./cm sec. Quando, per la convenzione detta per  $N$ , nel numero  $N$  fossero già compresi oltre agli occupanti abituali di un palazzo, una certa quota di ospiti o clienti <sup>(14)</sup> si potrebbero propor-

<sup>(13)</sup> Per soddisfare la curiosità di sapere quando sarà  $R = 1$  si può subito conteggiare a titolo di esempio il caso particolare di  $1/\varepsilon_s = 80$  (velocità di E. VAN EESTERN) e controllare il conseguente valore di  $t^*$ :

$$\begin{aligned} \text{per } 1/\gamma_0 = 0,1/t^* = 80/0,1 &= 800'' \equiv 13' 20'' \\ \text{per } 1/\gamma_0 = 1/t^* = 80/1 &= 80'' \equiv 1' 20'' \\ \text{per } 1/\gamma_0 = 10/t^* = 80/10 &= 8'' \equiv 0' 08'' \end{aligned}$$

Valori come  $t^* = 13' 20''$  possono essere talora bassi e talora alti in alcuni tipi d'edificio. Inoltre il valore teorico ammissibile di  $t^*$ , per essere paragonato a quello proposto dagli organi Tutori, dovrà necessariamente essere preventivamente incrementato, tanto per tenere conto degli inevitabili incidenti ritardanti l'evacuazione normale, quanto per tenere conto dei tempi necessari per raggiungere le scale e di quelli «morti» (per la trasmissione degli ordini; per la messa in moto dell'operazione, ecc.): cfr. nota 10.

I francesi ammettono però la concepiibilità di scale a *degré de coupe de feu* di 30' e 60'; in Italia il carico d'incendio varia dai 15' ai 45': cfr. nota 10.

<sup>(14)</sup> Cfr. nota 9 e fig. 3.

re, a puro titolo di ipotesi di lavoro, i seguenti valori di  $1/\varepsilon_s$  (ove  $1/\varepsilon_s = 1/\sum_i \varepsilon_{si}$  ed in cui si tiene conto che la discesa affannata lungo una scala, dovrebbe essere caratterizzata da valori  $1/\varepsilon_s$  maggiori di quello misurato da VAN EESTERN nel caso dello sfollamento dello stadio di Amsterdam, ed ancora in modo diverso a seconda del tipo di fabbricato in questione: il TOSI (o.c.), per es., presume che  $1/\varepsilon_s$  raddoppi passando da corridoi in piano alla discesa lungo una scala <sup>(15)</sup> e quindi si dovrà, in pratica, caso per caso, computare le  $\sum_i \varepsilon_{si}$  così come si accennò nella (4) per le  $\sum_i v_{si}$ :

TAB. 4 - Valori teorici congetturati di  $1/\varepsilon_s$ , (in sec cm/pers.) differenziati secondo una tipologia architettonica:

Edilizia residenziale:	
— case unifamiliari . . . . .	35
— case plurifamiliari . . . . .	150
Edifici per l'ospitalità:	
— alberghi . . . . .	130
— collegi . . . . .	90
Edifici opedalieri . . . . .	600 ed oltre

<sup>(16)</sup> L'Autore ringrazia il dr. A. MORELLI, per il dato assicurativo cortesemente fornitogli ed accenna al computo estimativo di una tromba scala di finiture commerciali correnti, riferito all'estate 1968:

Valore commerciale di una doppia rampa di scala per un edificio per l'abitazione, il lavoro intellettuale, l'ospitalità, l'ospedalità, i pubblici spettacoli, ecc., nel caso di un tamponamento su soli tre lati (cioè in caso di aggiunta del vano scala ad edificio già computato o esistente):

a) Struttura in c. a., compreso ferro, casseri, ecc., per pilastri, travi al piano, travi a ginocchio, gradini . . . . .	mc 5,00 × 35.000 = L. 175.000
b) Solaio in laterizio per ripiani . . . . .	mq 6,50 × 4.000 = » 26.000
c) Muratura di chiusura in mattoni pieni da cm 25 (lo stesso prezzo vale per un muro di cm 12+8)	mc 5,50 × 17.000 = » 94.000
Intonaco al civile sulle pareti interne della scala, sottoripiani e sottorampe . . . . .	mq 34 × 1.300 = » 44.000
Scalini in marmi comuni o similari, compreso zoccolino battiscopa . . . . .	ml 24 × 5.000 = » 120.000
Ringhiera in scatolato o ferro lavorato semplice, con corrimano in plastica, verniciata . . . . .	ml 6,50 × 7.000 = » 45.000
Tinteggiatura lavabile alle pareti, sottorampe ecc.	mq 34 × 500 = » 17.000
1 <sup>a</sup> somma . . . . .	L. 560.000

Incidenza per fondazioni (supponendo una casa a non più di 20 piani ed in assenza di particolari problemi geoidrologici ed impiantistici) . . » 40.000

2<sup>a</sup> somma . . . . . L. 600.000

N.B. - Se il vano scala dovesse essere chiuso su tutti e quattro i lati l'aumento sarebbe di L. 80.000 circa.

Incidenza di una finestra in ferro, compresi vetri, verniciatura, ecc. . » 40.000

Incidenza di due serramenti di ingresso finiti e posati . . . . . » 80.000

3<sup>a</sup> somma . . . . . L. 720.000

Edifici per il lavoro intellettuale . . . . .	110
Edifici per il lavoro manuale . . . . .	80
Edifici per l'istruzione:	
— primaria . . . . .	150
— secondaria . . . . .	60
Edifici per pubblici spettacoli (al chiuso):	
— teatri . . . . .	120
Edifici per pubblici spettacoli (all'aperto):	
— stadi ( $\varepsilon = 0,0125$ ) . . . . .	80
Edifici per il commercio, mostre, ecc. . . . .	120

Dai suddetti valori di  $1/\varepsilon_s$  è immediato ricavare i valori inversi di  $\varepsilon_s$  per introdurli nella 6).

Se invece il numero  $N$  si riferisse ai soli occupanti « nominali » di un palazzo, fissi o « titolari » del fabbricato, il coefficiente  $R$  andrebbe ulteriormente maggiorato, forse sul rapporto 1,25.

Per i nuovi progetti si potrebbe invece segnalare <sup>(16)</sup> ai finanziatori

<sup>(15)</sup> Cfr. nota 7. Il TOSI ritiene che la velocità di autotraslocazione di una persona si dimezzi passando da un percorso piano ad una scala in discesa e che si riduca a  $1/3 \div 1/4$  lungo una scala in salita.

immobiliari che il costo medio di una scala con finitura edilizia commerciale (L. 600.000 ÷ ÷ 700.000 ogni piano circa, se si trascura l'incidenza del costo del terreno o la mancata utilizzazione commerciale dell'area occupata dal vano scala, il che sarebbe computisticamente lecito in un rinnovato regime normativo) è pari al costo di una polizza ventennale che copra il rischio della perdita di 20 ÷ 40 impiegati (per ogni zona di piano servita da una coppia di rampe scala, il premio R.C. in 20 anni ammonterebbe per 40 impiegati a L. 600.000 circa); e questo lo si cita al di là di ogni considerazione di ordine etico.

D'altro canto ci si può chiedere: i progettisti di mezzi meccanici di sollevamento per il traffico delle vie di comunicazione in verticale, potrebbero dare un contributo alla soluzione del problema qui affacciato, proponendo impianti speciali di sicurezza, al di là delle norme del vigente D.P.R. n. 1497 del 29/5/1963 (che eludono il problema, lasciando la responsabilità d'uso degli ascensori, in qualsiasi circostanza, al giudizio degli utenti)?

#### 4. Cenni ai criteri stranieri sulla normativa di sicurezza per le scale.

4.1) Francia. È particolarmente interessante della Francia il *Règlement de Sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public* (A. 23/3/1965; J.O. 30/3/1965, ed. 1/3/1966) che ha sostituito il D. 13/8/1954. La norma è strutturata secondo una tipologia distributiva architettonica e di ogni tipo di edificio ad uso del pubblico esamina le prescrizioni per le strutture, i materiali, gli impianti, la distribuzione, il carico di fuoco, ecc. Dal punto di vista distributivo la legge distingue tredici tipi di edifici: I) *établissements de spectacles (salles, aménagements scéniques, installations cinématographiques)*; M) *magasins de vente, bazars*; N) *restaurants, cafés, brasseries*...; O) *hôtels à voyageurs*...;

P) *bals ou dancings*...; Q) *salles de conférences*; R) *établissements d'enseignement public et d'enseignement privé*; S) *bibliothèques et archives*...; T) *halles et salles d'expositions*; U) *établissements sanitaires*...; V) *établissements de divers cultes*; W) *banques*...; X) *piscines*.

Dal punto di vista edilizio sono introdotti i concetti di *coupe-feu de degré* in ore (con le norme sulle prove) per la *résistance au feu*; di *unité de passage*, pedana distributiva di m 0,60 come modulo (ma prescritta di larghezza m 0,80 se costituita da una sola pedana; m 1,40 se da due sole; quindi m 1,80, ecc. e poi multipli di m 0,60 se per 3 ed oltre).

Ogni scala deve essere proporzionata al numero effettivo di utenti (C.O. 38) (da calcolarsi secondo prescrizioni varianti con la tipologia architettonica da 0,2 a 2 pers./mq) attraverso un valore di  $1/\gamma_0 = 1,6 \div 0,8$  per un numero di utenti crescente da 50 a 1000 e oltre (C.O. 40,49), ma  $a_0 = 140$  cm (C.O. 57). Il valore  $1/\gamma_0$  aumenta per i piani superiori al primo del 10 e 20% (C.O. 49, 58,59). La norma si preoccupa di avere sempre, in ogni edificio, almeno un vano scala con *coupe-feu de degré de 1/2 heure*, o di 1 ora, e per valori di  $t^*$  così elevati, il parametro  $1/\gamma_0$  non è ovviamente più differenziato tipologicamente <sup>(17)</sup>.

4.2) Germania. Sono già state richiamate altrove <sup>(18)</sup> le norme tedesche nazionali e locali, già pubblicate dal NEUFERT e che già più volte anche qui sono state citate; esse calcolano da decenni ormai valori  $1/\gamma_0$  tipologicamente differenziati su parametri distributivi.

4.3) Inghilterra. Si ha l'impressione che nei paesi di lingua inglese le norme vigenti prevedano una tale casistica di possibilità ammesse in alternativa da non poter costituire un quadro morfo-

logico di interesse anche comparativo e semeiotico <sup>(19)</sup>.

Con criteri paralleli a quelli che ispirano la presente nota sono state emanate però nel 1956 <sup>(20)</sup> delle proposte da sperimentare e verificare, le quali prevedono valori  $1/\gamma_0$  diversi a seconda della tipologia architettonica intervenendo con parametri diversi per valutare la quantità di persone da addebitare ai vari tipi di edificio, giungendo (e persino per edifici per pubbliche riunioni) a normalizzare valori di  $1/\gamma_0$  anche minori dell'unità.

A confronto, le norme italiane sui teatri e locali di pubblico spettacolo già citate, sembrerebbero troppo severe <sup>(21)</sup>. La frequenza degli incidenti inviterebbe comunque gli specialisti a sottoporre a metodiche sperimentazioni anche le scale, conformazione architettonica ricca di problemi originali ancora insoluti e strumento potenzialmente pericoloso per la pubblica utilizzazione, finché permarrà una normativa indiscriminante e non confortata da nuove verifiche sperimentali.

Quando i valori  $\gamma$  dei sistemi pedonali di comunicazione verticale fossero progettati in base ad una elaborazione di misure effettive di  $\varepsilon$  attenta anche alle differenti esigenze distributive e morfologiche dei molteplici tipi di edifici, la sicurezza del traffico sarebbe valutabile, per i diversi tempi di sfollamento  $t^*$ , controllando la soglia di pericolosità.

Vincenzo Borasi

<sup>(19)</sup> BRITISH STANDARD CODE OF PRACTICE, CP 3 - Chapter IV (1949, 62, ...): *Precautions against fire*, the Codes of Practice Committee, British Standards Institution, London; NATIONAL FIRE CODES, Vol. IV: *Buildings*, National Fire Protection Association, Boston, USA, 1966 (10 Voll.).

<sup>(20)</sup> LONDON COUNTY COUNCIL, *Means of escape in case of fire*, n. 3868, London, 1956.

<sup>(21)</sup> Si trascrivono alcuni valori di  $1/\gamma_0$  deducibili da norme straniere (cfr. fig. 3, *Confronto*...) e manualistiche:

(Francia) Sécurité contre l'incendie dans l'établissement recevant du public, 1957, 1,9, 1,0; 0,8; 1,0; A. Tosi (proposta italiana) *Tecnologie antincendi nelle costruzioni*, 1,43; 1,66; 2,00; 2,5; 3; 3,5; (Inghilterra) (LONDON COUNTY COUNCIL) *Means of escape in case of fire*, 1956, 1,07; 0,6; 1,48; 0,6; (Germania) *Regolamenti Prussiani*, 19/11/1910, 0,7-0,45; *Regolamento Edilizio di Amburgo*, 0,83-0,5; *Regolamento Edilizio di Berlino*, 0,3; *Prussische Polizeiverordnung über den Bau*... vom 8/12/1931, 0,2-0,3.

<sup>(18)</sup> Cfr. nota 6.

# Il valore del « rilievo » negli studi del Rinascimento

MARIA FREDDI, stabilita la differenza di significato che il termine « rilievo dei monumenti » assunse nel passato ed oggi, passa in rassegna nella storia i concetti ispiratori dal Primo Rinascimento al Tardo Rinascimento. La disanima antologica è corredata d'esempi di disegni di autori celebri, singolarmente illustrati e documentati per il loro valore di magisterio.

Sarà bene stabilire subito la fondamentale differenza di significato che il termine « rilievo dei monumenti » o « rilievo architettonico » assume nel caso che lo si riferisca ai nostri studi di oggi oppure lo si intenda eseguito dai Maestri del Rinascimento.

La differenza concettuale è di capitale importanza.

Per noi oggi il rilievo è una documentazione rigorosa che si propone fini scientifici, seppure non disgiunta dall'eleganza grafica, la quale peraltro non da tutti è ritenuta indispensabile; per gli antichi il rilievo era un mezzo di conoscenza, ma non tanto di conoscenza scientifica, quanto piuttosto di conoscenza dell'arte. Mezzo formativo cioè, ma, come si dirà più innanzi, strumento dell'arte, non erudizione sterile.

Anzi, a testimoniare quanto dissimili siano le posizioni moderna ed antica, notiamo che neppure la parola « rilievo » esisteva, ma, con maggiore modestia ed aderenza all'operare di allora, si parlava di « misurare » e di « disegnare » o di « togliere dall'antico ».

Ciò premesso, gioverà osservare come, per lo più, pochi « rilievi » rinascimentali ci siano giunti allo stato puro; voglio dire cioè non contaminati da integrazioni ed aggiunte, talora di fantasia, che al dato obiettivo si mescolano, si sovrappongono, lo travisano non di rado, creando un'insieme di esattezza e immaginazione innovatrice che è un tutto inscindibile ed indissociabile. Se quindi ne scapita la fedeltà al modello, se ne avvantaggia di molto la nostra conoscenza delle qualità artistiche dei maestri che anche in quest'arte rivelano aspetti della loro personalità.

Di qui uno dei maggiori inte-

ressi onde noi oggi attendiamo — da oltre mezzo secolo — allo studio dei disegni degli architetti del Quattro e del Cinquecento, e in particolar modo dei loro studi dall'antico.

L'integrazione grafica delle parti mancanti, e non solo dei particolari morfologici, ma anche del sistema ossaturale delle architetture osservate, è abitudine comune in quei secoli; muove essa dall'esigenza di voler spiegare con completezza nella sua totalità l'architettura antica: poco importa se, per avventura, l'integrazione alterasse così le linee delle venerande rovine di Roma da renderle assai simili alle forme — per allora — più moderne e innovatrici!

Poco importa se da scarsi avanzi bastasse l'animo di ricavare composizioni di largo respiro, magari lontane dallo spunto tematico obiettivo, ma capaci di dare una misura dell'altezza d'ingegno di chi in esse, come il Palladio, per consuetudine si cimentava! Poco importa se oggi gli antichi disegni servono anche per fini ben diversi da quelli che i loro autori si erano proposti, se oggi servono spesso cioè per la scienza archeologica e l'erudizione topografica, e non sempre vengano utilizzati per ricerche storico-artistiche.

Dall'esame dei disegni di uno stesso autore tratti dall'antico, dall'esame, quando è possibile, di tutti quelli che di un maestro ci sono pervenuti, e dal loro confronto con i disegni d'invenzione, e con le opere architettoniche realizzate, mille utilissime osservazioni possono trarsi, e da esse la figura dell'artista può essere messa in una più giusta luce.

Anche quando, riguardo all'esattezza e alla veridicità — cioè al maggiore o minor grado di rispondenza al monumento — i disegni

di rilievo (e d'integrazione) peccino, ai nostri occhi, per eccessive licenze poetiche, sempre tuttavia rivelano non comuni facoltà di sintesi, quando sono di mano di grandi artisti, e, in tali casi, anche nei riflessi dell'obiettiva conoscenza, sono non di rado singolarmente illuminanti. Perché è chiaro che un Sangallo, un Peruzzi un Palladio potevano e sapevano, per congeniale intuizione artistica, e per la consuetudine del progettare e costruire opere egregie, sapevano veder meglio nel fatto architettonico di quanto non riesca a fare con la sua scienza il critico o l'archeologo moderno.

L'assenza, nei rilievi rinascimentali, d'intenti storico-archeologici o di rigore topografico e la mancanza, in quegli artisti, di consapevolezza critica intesa in senso moderno non sono tali però — per chi osservi in profondità e nella sua estensione complessiva il grande fenomeno artistico del Rinascimento — non sono tali però, dicevo, da non lasciar trasparire un implicito giudizio di « valore » sulle architetture studiate. Questo giudizio di « valore » è dimostrato dalla « scelta » dei monumenti esaminati e rilevati, secondo le preferenze e non già secondo l'occasione, da questo o da quell'artista, in questo o in quell'altro momento storico, ciascuno, al tempo suo, secondo certe affinità di gusto, che sono molto precise ed assai indicative.

Al di là della mutevolezza dell'oggetto dei rilievi permane, in altri termini, qualcosa di stabile, di molto importante nella storia della cultura: trattasi della correlazione tra lo studio dell'antico e la formazione del linguaggio artistico e dei mezzi espressivi dei Maestri del Rinascimento.

Ed è quanto cercheremo, per sommi capi, di dimostrare.

Breve sguardo allo svolgimento storico del concetto di « rilievo » attraverso il Rinascimento.

a) La posizione del Primo Rinascimento.

Il sogno di Roma antica, che aveva permeato di sé tanta parte delle memorie e dell'immaginazione del Medio Evo, pervade tutto il Rinascimento e, attraversandone i due secoli, si colora di vari caratteri e s'impronta al linguaggio degli artisti e a quel tanto di tradizione architettonica e di opera di maestranze regionali che ne modificano via via gli aspetti molteplici.

L'esuberante fantasia creatrice del Primo Rinascimento, sortita gioiosa e libera alla ricerca di forme nuove, che vogliono tuttavia affermarsi come rinascita della venerata antichità, ci lascia, nel Quattrocento, interpretazioni vivacissime e nuove, dove però non è ancora il caso di parlare di « rilievo », ma si può, tutto al più, discorrere di schizzi non misurati — qui sta il punto — che dall'antico hanno tratto un vago spunto.

Per uscire dalle considerazioni generali, e per dare qualche idea più concreta, ci soffermeremo su alcune figure di artisti e su alcune opere, non escludendo la trattatistica che nella seconda metà del Quattrocento prende una consistenza vigorosa.

Dovremo limitarci, com'è ovvio, a pochi cenni.

Simone del Pollaiuolo detto Il Cronaca (1457-1506 e 1508).

Si nota una squisitezza di partiti decorativi ed un sapore schiettamente rinascimentale nei disegni della raccolta degli Uffizi cui il Cronaca attribuisce i titoli — ad esempio — « Palazzo di Catilina », « Palazzo di Mercurio », « Campidoglio », « Tempio di Cerere ».

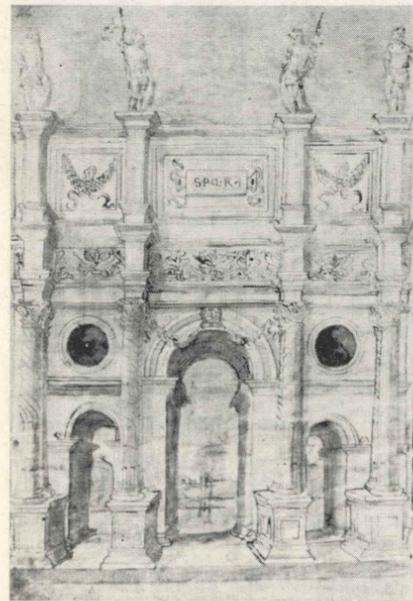


Fig. 1 - Così detto Codice Soane (Londra). Interpretazione rinascimentale di un arco di trionfo antico.

C'è chi ha dimostrato come, attraverso le sue spigliate e fantasiose prospettive architettoniche, il Cronaca lasci intravedere pensieri per fabbriche di alto interesse spaziale ed organico, irrealizzate, ma concretamente possibili. L'affermazione di quei nomi antichi vuol dare ai disegni (siamo ancora bene innanzi alla nascita dei rilievi) la nobiltà ancestrale ch'essi non hanno, usciti come sono dai regni della pura fantasia, colorata però, come sempre, da ricordi concreti.

Alcuni codici: Giovanni Marcanova (circa l'anno 1465); il Codice londinese Soane.

Verso la metà del Quattrocento, anzi, come si crede, intorno al 1465, Giovanni Marcanova compilava una raccolta epigrafica, lavorando in parte a Padova in parte a Bologna e la dedicava a Malatesta Novello.

Trattasi di un codice membranaceo, ricco di figure di monumenti, delineati da mano di scuola veneta, presumibilmente padovana; grandi disegni a piena pagina tracciati a penna e acquarellati in seppia, e miniature a vivaci colori. Fu esposto a Roma nel 1953 alla Mostra Storica Nazionale della Miniatura; è conservato a Modena, nella Biblioteca Estense.

Per noi dimostra la parte che ha la fantasia e l'importanza del linguaggio architettonico veneto nella rievocazione lirico-erudita dell'antico.

Fantasie rievocatrici di un antico, filtrato attraverso una cultura artistica veneto-lombarda, legate a spunti concreti assai tenui, non di rado vicine ai soggetti delle prospettive consuete nelle tarsie tra la seconda metà del Quattro ed il primo trentennio del Cinquecento, appaiono nella eterogenea raccolta del Codice londinese Soane.

Questi disegni indicano un atteggiamento del gusto artistico, precedono la nascita dello schizzo misurato, ma spiegano il più tardi persistere e perdurare nel tempo delle ragioni della fantasia al di sopra di ogni rigore obiettivo.

L'« Hyperotomachia Polyphili » o « Pugna d'amore in sogno - romanzo di Polifilo » - attribuita a Francesco Colonna e la « Sforzinda » del Filarete - (1400 circa - 1470 circa).

L'atmosfera fiabesca e i ricordi eruditi, lo sfoggio di arcaismi ed esotismi linguistici preziosi nel farraginoso romanzo di Polifilo trovano rispondenza, nell'edizione aldina, con le xilografie, come si crede, di Giovanni Bellini: lontanissime dal carattere del rilievo, quelle illustrazioni vogliono, sì, rievocare l'antico, ma in un mondo lontano, di sogno. Ed alla fantasia attinge anche, sia nel suo trattato, sia nella porta bronzea di S. Pietro, Antonio Averlino detto il Filarete (1400 c. - 1470 c.), nella cui opera pare possa cogliersi un'eco di monumenti fascinosi, quali la Piramide Cestia o il Terebiuto Vaticano, il Colosseo, il Faro di Alessandria, il Porto Romano di Fiumicino, ecc. ecc.. I tempi non sono ancora maturi per il « rilievo ».

La trattatistica: Leon Battista Alberti (1404-1472).

Racconta il Vasari come il Brunelleschi si desse con somma alacrità e costanza a misurare innumerevoli edifici antichi, e ad osservarli per trarne insegnamenti per la sua arte. Alcuni critici, come il Salmi, osservano che il primo Rinascimento toscano ha certi caratteri, in quanto la Firenze classica, romana, aveva avuto la sua massima fioritura artistica durante la tarda repubblica e il periodo augusteo: e dai monumenti di quell'epoca dovette poi muovere i primi passi la corrente classicistica non sopita nel Medioevo e la Rinascente successiva: ond'è che quest'ultima assume certe sfumature lessicali e non certe altre.

Ora tutto questo dimostra che vi è stata una osservazione attenta e minuziosa. Rilievi? Non ne abbiamo traccia. Dobbiamo tuttavia



Fig. 2 - C.d. Codice Soane (Londra). Fantasia rinascimentale che trae lo spunto dall'Arco degli Argentari in Roma, identificabile nella zona del disegno al di sotto del piano d'imposta dell'arco.

prender nota di una correlazione tra il lessico romano e le moyenze rinascimentali, ne sia stato o no mediatore un materiale rilievo.

L'istanza del rilievo prende però forma netta e cosciente, nel suo oggetto e nei suoi fini, nell'opera e nel trattato (*De re aedificatoria*, postuma, 1485, (composta verso il 1452 c.) dell'Alberti. La precisione che è necessaria nello osservare le proporzioni modulari degli ordini e le rispondenze musicalmente armoniche tra il tutto e le parti impongono ormai disegni e misurazioni sistematiche, giustificate da un fine intellettuale e razionale ben alto. I rapporti armonici sono alla base della composizione così antica come moderna, e perciò le leggi che la governano non possono essere ricercate, se non si ha un progetto quotato per l'edificio nuovo,

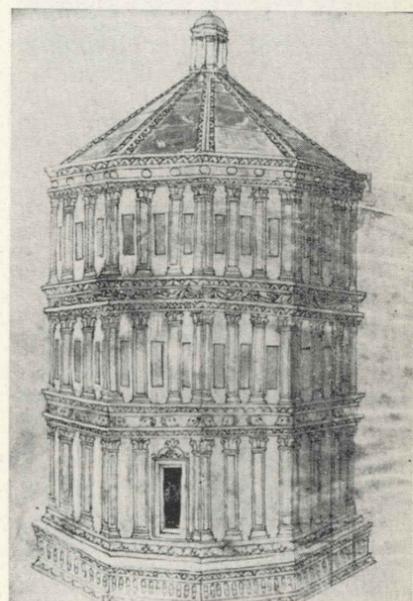


Fig. 3 - C.d. Codice Soane (Londra). Un'interpretazione libera del Battistero di Firenze.

o un rilievo corredato di misure, nel caso dell'antica fabbrica. E il perchè è abbastanza noto, in virtù di un passo della celebre lettera dell'Alberti a Luca Fancelli, esecutore della sua volontà: «... le ragioni... tu sai ond'èle nascano; e una linea che tu muti si guasta tutta quella musica...». Inoltre lo studio diretto dell'antico da parte dell'Alberti è testimoniato da una sua notissima frase: «... credo più a Panthei e a therme che a Vitruvio Tullio».

Un viaggiatore: Ciriaco d'Ancona.

Nel 1424 Ciriaco de' Pizziccolli da Ancona inizia i suoi viaggi di studio dall'antico: è ad Atene dal 1436 al 1447, mentre tra il 1443 e il '48 si aggira nell'arcipelago greco e nel Levante. Di lui rimangono taccuini con notizie archeologiche e disegni. Si tratta di schizzi non quotati, dove la deformazione delle proporzioni è notevole, come può notarsi nel famosissimo disegno del prospetto del Partenone, di una ingenuità architettonica infantile, stranamente connessa a una buona mano nel trattamento delle figure umane. Qui c'interessa richiamare l'attenzione sulla infaticabile operosità di questo antico studioso e sullo amore per l'arte e l'erudizione che lo ha portato in così lontane contrade per riferire, in patria, i risultati delle sue indagini; a tal fine eragli di sussidio il disegno di architettura, non ancora però il rilievo.

Piero della Francesca (1492).

Se Piero merita d'essere qui menzionato, lo si deve alla osservazione attenta e alla misurazione del celebre capitello composito del quale nel suo trattato - *De Perspectiva pingendi libri tres* - egli descrive il modo di metterlo con le regole in iscorcio.

Ed ecco che, sul morire del secolo XV, il rilievo è un fondamento indispensabile per la rappresentazione prospettica da eseguire secondo regole esatte, rappresentazione che trabocca, com'è naturale, nella pittura; e poichè è stata messa in luce la parte che Piero ebbe nella ispirazione e nella realizzazione del Palazzo Ducale di Urbino, diverse illusioni possono trarsi sull'importanza che, più tardi, agli albori del Cinquecento, il rilievo architettonico viene ad assumere.

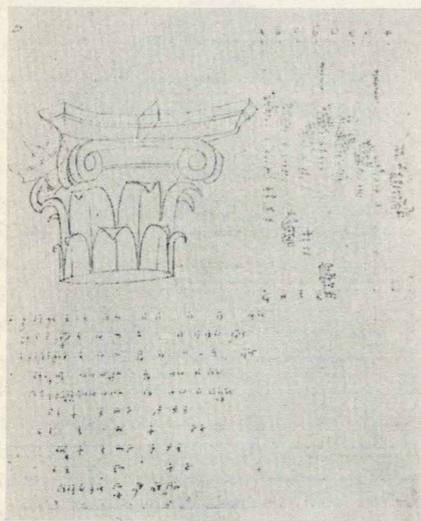


Fig. 4 - Piero della Francesca: prospettiva di capitello composito (dal trattato *De perspectiva pingendi*).

## b) La prima metà del Cinquecento a Roma.

Nel Cinquecento il rilievo viene ad assumere una sua ben precisa fisionomia, scopi ben definiti, ed un'importanza senza precedenti nella storia. Per il concorrere di circostanze fortunate possediamo, nel Gabinetto dei disegni degli Uffizi, una tra le raccolte più ricche; là, sebbene si trovino schizzi attinenti alle più disparate città e luoghi, abbondano le memorie di monumenti di Roma e del Lazio.

Molto ricca è la collezione fiorentina (alla quale altre se ne possono aggiungere per completare il quadro) a proposito di artisti per lo più toscani, attivi a Roma con e dopo Bramante.

Possiamo solo in breve soffermarci a considerare l'opera di alcuni Maestri.

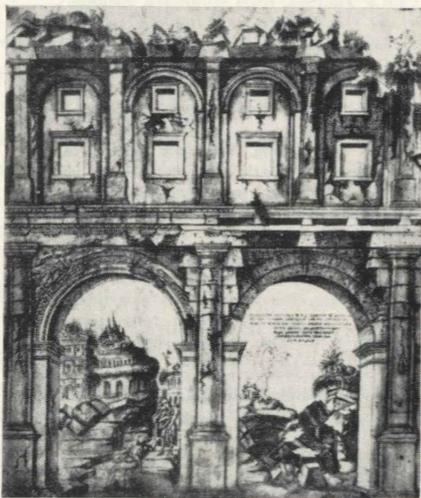


Fig. 5 - Giuliano Giamberti da Sangallo: la così detta «Crypta Balbi» in Roma (da Chr. Huelsen, *Il libro di Giuliano da Sangallo*, cod. Vat. Barb. Lat. n. 4424, Lipsia 1910).

Giuliano Giamberti da Sangallo (1445 o 43 - 1516).

Oltre il taccuino senese (di scarso interesse per la architettura), e oltre alcuni disegni ora agli Uffizi, ci resta di Giuliano il Codice Vaticano, Barberiniano Latino n. 4424, importantissimo per molti suoi aspetti.

Non sempre trattasi di semplici schizzi, né sovente le quote corredano questi grafici; è certo però che siamo di fronte a una sistematica misurazione di antiche fabbriche, e a disegni rimessi in pulito ed in scala; delineati non con freddezza erudita, ma con grande e vivo senso d'arte ed acquarellati con grande efficacia chiaroscurale.

Al singolarissimo interesse documentario che questi disegni hanno, perchè sono il ricordo, abbastanza preciso, di monumenti oggi semidiruti (quali la Crypta Balbi, il Settizonio addirittura distrutto ecc. ecc.), si aggiunge la nostra curiosità per la scelta che è stata fatta e per il metodo di raccolta (vi è ad esempio S. Sofia di Costantinopoli, per certo tratta da appunti che Giuliano poté farsi mandare). In quanto poi alla rispondenza tra alcuni suoi disegni dall'antico e le di lui opere realizzate, il discorso ci condurrebbe troppo lontano.

Antonio da Sangallo il Giovane e i suoi collaboratori.

Nella moderna e perfetta, quasi militaresca organizzazione del suo studio, Antonio il Giovane alternava il lavoro professionale di progettazione e sorveglianza sulla esecuzione di opere allo studio dell'antico; studio che andava facendo con lunga lena e diuturna fatica sia personalmente, sia tramite i numerosi ed espertissimi suoi collaboratori, primi tra essi i suoi familiari, e in special modo il fratello Battista detto il Gobbo.

In periodi di scarsa attività professionale, con moderna saggezza il Sangallo valevasi dell'organizzazione che aveva creata per far rilevare quanto non arrivava a fare di persona; raggiungeva così il duplice scopo di non tenere inoperosi i collaboratori e di accrescere vistosamente la sua raccolta di materiale di studio. Per la prima volta assistiamo così allo svolgimento del rilievo come lavoro in *équipe*, se così si può dire; al lavoro di collaborazione razionalmente distribuito ed organizzato. E tra gli aiuti vi erano persone di valore eccezionale, come Baldassarre Peruzzi che, meno fortunato del suo amico, riusciva grazie allo stipendio del Sangallo, a condurre innanzi con meno stenti la misera famiglia.

La disciplina del lavoro era ferrea, vigile la mente di Antonio. Controllava le misure prese, scriveva in margine un acerbò rimbrotto se non fossero state eseguite a regola d'arte, disegnava egli stesso ed annotava in molti fogli gli edifici che prendeva in esame.

La qualità eccellente dei suoi disegni è ben nota; quanto egli abbia potuto apprendere dall'antico e trasporre nelle opere sue, è pur noto; si pensa inoltre che, egli meditasse di pubblicare un commento a Vitruvio, del quale c'è solo la prima pagina, di mano di Antonio, e alcuni commenti a un codice, per opera del Gobbo. Bisogna poi riconoscere che i suoi rilievi sono tra i più rigorosi. Il grande trattato (cui non è audace pensare che egli vagheggiasse) non vide mai la luce, anche perchè il suo autore era troppo impegnato in attività pratiche.

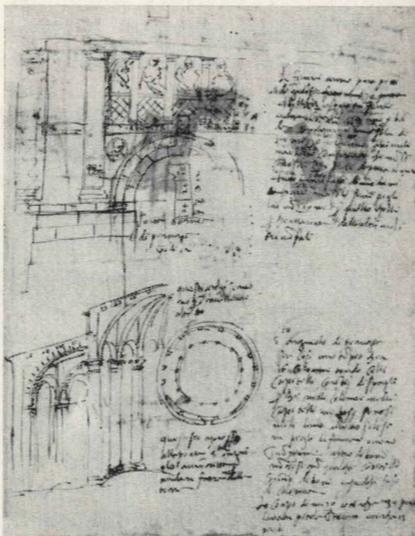


Fig. 6 - Antonio da Sangallo il Giovane: pagina di taccuino con disegni di monumenti di Perugia; la porta Marzia e la chiesa di S. Angelo (Dis. Arch. Uffizi n. 1207, da Giovanni).

Baldassarre e Sallustio Peruzzi; Sebastiano Serlio.

Rilievi minuziosi ed eleganti di edifici romani furono fatti da Baldassarre prima, poi anche dal figlio suo Sallustio Peruzzi; ora in

forma autonoma, ora allo scopo di aiutare il Sangallo. Anche questi sono molto minuziosi, per lo più sono assai attendibili, e sono particolarmente significativi quando ci fanno vedere antiche fabbriche ora scomparse (come ad. i portici del Foro Emiliano di Terracina).

Sebastiano Serlio si vanta, nella prefazione a uno dei libri raccolti, più tardi, dallo Scamozzi in trattato, di dovere tutta la sua formazione artistica ai consigli del Peruzzi e, lealmente, si dichiara suo allievo subordinato. È notevole il fatto che, nel suo trattato, egli inserisca, tra le migliori fabbriche antiche, alcune di quelle moderne di allora, sia nei suoi stessi progetti, sia come rilievi (è il caso del S. Pietro in Montorio, nel Tempietto Bramantesco della Basilica Vaticana).

## c) Il Tardo Rinascimento.

Nei pochi esempi sopra descritti, del primo Cinquecento, abbiamo osservato, in generale, un'abbastanza scrupolosa esattezza di osservazione, non disgiunta, come sempre avviene in quel secolo, dall'interpolazione di appunti e di schizzi di vario carattere e da completamenti fantastici.

Con la dispersione degli artisti operanti in Roma seguita al Sacco del 1527 (Peruzzi va a Siena, Jacopo Sansovino a Venezia ecc.), il classicismo romano post-bramantesco si diffonde in altre contrade.

Osserviamo ora cosa accade procedendo verso la metà e, successivamente, la seconda metà del secolo e, con un agile salto, trascurando artisti notevolissimi, soffermiamoci soltanto su alcuni.

Giacomo Barozzi da Vignola.

Troppo noto per la sua «Regola dell'Ordine» e, un po' meno, per la «Regola della Prospettiva» e, molto più per le sue opere architettoniche, il Vignola è offuscato da una cattiva fama di pedanteria, che deve principalmente alla minuzia di proporzionamento che egli descrive. Nella ricerca di un canone armonico che il maturo Rinascimento persegua anche in forma teorica, il Vignola si è valso di lunghe ed estese misurazioni di ordini classici, ne ha fatto una scelta - si badi bene, e lo dichiara - e, dai più belli per lui, ne ha tratto le regole.

Pochissimi, e non tutti di attribuzione sicura sono i disegni di mano del Vignola; né, quei pochi, sono particolarmente significativi al nostro fine.

Vorremmo però richiamare l'attenzione sul presupposto che anima di vivida luce la faticosa Regola degli Ordini, preda di tanto fatto per i secoli futuri: gli studi che il Barozzi proponevasi di pubblicare, e dei quali solo i soprammentovati videro la luce, dovevano far parte di un monumentale e più arduo lavoro, anche questo di collaborazione, ma questa volta secondo le più qualificate e specifiche competenze: un Vitruvio di cui un filologo avrebbe riveduto ed emendato il testo, l'antiquario, cioè l'archeologo, avrebbe confrontato i dati storici, e infine l'architetto - che era il Vignola - avrebbe dovuto curare l'illustrazione, con esempi non ripetuti dall'interpretazione del testo, ma rilevati dal vero, dalle antiche fabbriche; gli ordini ne sono una parte.

Idea sperimentalmente moderna, cui dava l'avvio quell'Accademia delle Virtù fondata dal Cardinale Marcello Cervini, che fu poi Papa col nome di Marcello II (e cui Pier Luigi da Palestrina dedicò la messa detta, appunto, di papa Marcello). Posizione dunque che, negli

scopi perseguiti dal rilievo, era fondamentale innovatrice.

Andrea Palladio; Michele Sanmicheli.

Al rilievo dei monumenti romani dedicò il Palladio un'attività infaticabile. Se «I Quattro Libri dell'Architettura» - Venezia, 1570 - e particolarmente il quarto ne sono il frutto più noto, bisogna, accanto a questo, porre idealmente il materiale che era destinato al libro delle «Terme dei Romani» e che fu utilizzato, in nome appunto del Palladio, ma poco meno di un secolo e mezzo più tardi, da Ottavio Bertotti Scamozzi, e inoltre va considerata la ingentissima mole di eccellenti disegni autografi - quanto migliori delle rigide xilografie del trattato! - conservati a Windsor, di recente commentati e pubblicati dallo Zorzi. Bisogna poi pensare all'amicizia che il Palladio ebbe col Trissino e con Monsignor Daniele Barbaro, Patriarca di Venezia, con il quale ultimo ebbe a collaborare non solo nel costruirgli l'omonima Villa a Masèr, ma anche nell'illustrargli l'edizione di Vitruvio che quel Prelato umanista andava curando.

Mirabile è l'unità di pensiero che accomuna nella personalità di artista del Palladio le sue composizioni simmetriche e i suoi studi dall'antico; studi che, quando sono integrati da intuizioni ricompositive geniali, c'interessano non tanto, non solo, non più come rilievi, ma come progetti di singolare coerenza. Per limitarmi a pochi esempi, citerò il caso del Santuario della Fortuna Primigenia a Palestrina e la così detta Villa di Mecenate e il Tempio di Ercole a Tivoli, nonché la serie delle Terme romane. Ciascuno dei gruppi di disegni corrispondenti a questi esempi meriterebbero di essere rivalutati per le qualità intrinseche delle reintegrate composizioni grandiose che rappresentano, e per i valori architettonici palladiani dei quali sono l'espressione altrettanto matura, quanto lo sono le opere realizzate.

Ma a quale romanità guardavano questi Maestri?

Appare per certo che essi non ponevano in modo indiscriminato sopra uno stesso piano tutta quanta la produzione architettonica allora conosciuta dell'antichità classica; appare da indizi sicuri che essi operavano una scelta per ragioni d'arte e per affinità di gusto. I caratteri di certe epoche non sembravano conformi all'idea che s'era formata di certe forme astratte dalla realtà storica ed elevate a valori universali, all'idea dell'ordine canonico, per essere concreti.

Provatevi a cercare, tra tutti i rilievi eseguiti nel Cinquecento, la morfologia arcaizzante dei secoli alti della Repubblica, le tese modanature italiche, le larghe gole dei tumuli etruschi o il dorico d'ispirazione ellenistica! Nulla, o assai raro il rilievo. Raro anche quando forme siffatte appartengano per avventura a uno dei grandi complessi monumentali che vengono accuratamente indagati e misurati per ciò che si attiene alla grande composizione d'insieme, alla tettonica delle masse, al possente respiro spaziale. Ciò significa (non vorremmo però generalizzare questa osservazione in una forma apodittica) che l'artista del Cinquecento è, per affinità elettiva, più vicino alla morfologia imperiale che a quella dei secoli della Repubblica.

Si guardino, nel Palladio, i rilievi del Tempio rotondo detto di Vesta a Tivoli.

Sono sostanzialmente esatti nei rapporti d'insieme, nelle misure generali, nelle linee della trabeazione. Però i capitelli dal grande fiore, dai caulicoli intrecciati, dalle ampie foglie carnose di tipo sillano hanno, nel rilievo, cambiato i connotati nel modo più impressionante: il capitello della tarda Repubblica ha ceduto il posto ad un elegante, ma anonimo corinzio che è indifferentemente adriano o cinquecentesco in senso palladiano!

L'esempio è significativo, ma non è il solo.

Molte altre osservazioni potrebbero farsi su questa fonte inesauribile, costituita da rilievi del Palladio, ma lo spazio limitato ce lo impedisce.

Poichè siamo giunti in ambiente veneto, vogliamo affacciare un altro pensiero.

Il Sanmicheli sarebbe stato il Sanmicheli, se non avesse assimilato, certo attraverso rilievi da lui stesso eseguiti, i particolari caratteri della romanità veronese? Quei caratteri che trasmigrano dai monumenti antichi di Verona nella sua opera architettonica? Può cogliersi nel quadro complessivo dell'architettura romana un'inflessione dialettale veneta, e, in particolare - per speciali determinazioni storiche - veronese? (A quel modo per cui Tito Livio avrebbe mostrato nella sua prosa pur così aulica un accento padovano, *quaedam patavinitas*). Scarseggiano i documenti, eppure si può dare ai rilievi, il valore di strumento di conoscenza e di mediazione di forme artistiche.

Pirro Ligorio.

Tra le figure più discusse del Cinquecento, il Ligorio tiene certo il primo posto, e proprio a proposito dei «rilievi» dei monumenti antichi. C'è chi lo ritiene un falsario, un impostore che inventa con somma abilità edifici non mai esistiti, c'è chi è propenso a dargli un certo credito, c'è infine chi distingue le sue tesi dotte, i suoi commenti, le sue osservazioni, a corroborare le quali egli non si perita d'inventare epigrafi o identificazioni topografiche, dai disegni corredati di misure, per lo più abbastanza attendibili.

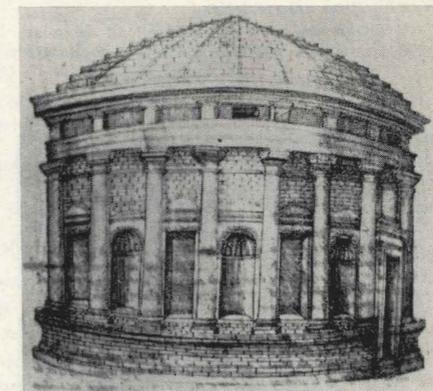


Fig. 7 - Pirro Ligorio: un mausoleo campano (dai codici conservati nella Biblioteca Nazionale di Napoli).

Certo è che nell'opera sua di poligrafo - 10 volumi in folio a Napoli, altrettanti a Torino, non so quanti altri a Londra - egli ebbe il merito, sia pure in una forma sui generis, di concepire una sorta di grande enciclopedia del mondo classico, e, nel campo di cui ci occupiamo, tentò di non lasciare il rilievo isolato, quasi fosse fine a sè stesso, ma ne sublimò il valore, per elevarlo in una sintesi con l'erudizione antiquaria. Se ciò abbia fatto con metodi non buoni, è cosa che al momento non ci riguarda.

Se il rilievo deve servire di documentazione (ed ecco che s'insinua con fatica un concetto moderno), allora la documentazione va integrata con tutti i mezzi; ed ecco Pirro Ligorio, che mai è stato in Oriente, dimostrare delle provincie orientali dell'impero e del tardo mondo ellenistico una conoscenza forse inesatta, ma che tuttavia stupisce in chi non ha mosso un passo fuori d'Italia. Come ciò avvenne? Uno dei grandi volumi manoscritti in folio della Biblioteca Nazionale di Napoli tratta delle