

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

TRANSITORI TERMICI

CESARE CODEGONE esamina, anche con esempi numerici, vari casi di transitori termici interessanti le pratiche applicazioni e mostra che partendo da soluzioni rigorose, richiedenti lunghe calcolazioni numeriche, sia possibile, entro certi limiti, giungere a soluzioni semplici e per la tecnica sufficientemente approximate.

1 — Lo studio dei transitori termici, cioè dei mutamenti non periodici di temperatura, e particolarmente delle fasi di avviamento o di mutamento di regime degli impianti, ha assunto una notevole importanza, anche a causa della diminuzione dell'inerzia termica delle pareti.

L'equazione di propagazione del Fourier in mezzi omogenei e isotropi:

$$(1) \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = a_i \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

ammette la soluzione generale:

$$(2) \quad t = M + K_1 x + K_2 y + K_3 z + Ne^{\kappa\tau + \lambda x + \mu y + \nu z}$$

in cui $M, K_1, K_2, K_3, N, \kappa, \lambda, \mu, \nu$ sono costanti e:

$$(3) \quad \frac{\kappa}{\lambda^2 + \mu^2 + \nu^2} = a_i = \frac{k}{\rho c}$$

è la diffusività termica.

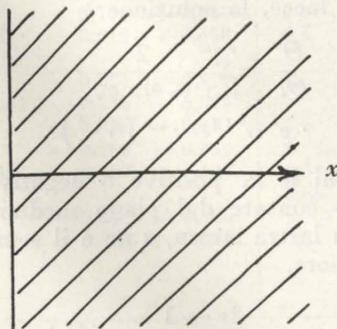


Fig. 1 - Muro illimitato.

Le soluzioni particolari dipendono dalle condizioni ai limiti. Molti casi sono stati analiticamente risolti.

Ad es. se la superficie di una

parete piana di ampiezza illimitata, infinitamente spessa nel senso positivo delle x (v. fig. 1) ed inizialmente alla temperatura t_i , muta bruscamente di temperatura, passando al tempo zero dal valore t_i al valore t_o , che mantiene per $\tau > 0$, ponendo (1):

$$(4) \quad \begin{cases} \Theta_i = t_i - t_o \\ \Theta = t - t_o \end{cases}$$

si ha:

$$(5) \quad \frac{\Theta}{\Theta_i} = f(u)$$

$u = 0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	
$f(u) = 0$	0,112	0,223	0,329	0,428	0,520	0,604	
$u = 0,7$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	
$f(u) = 0,678$	0,742	0,797	0,843	0,880	0,910	0,934	
$u = 1,4$	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
$f(u) = 0,952$	0,966	0,976	0,984	0,989	0,993	0,995	0,997

dove; introducendo il numero del Fourier ($N_{Fo} = a_i \tau / x^2$; qui per semplicità indicato con N_F):

$$(6) \quad u = \frac{\kappa}{2\sqrt{a_i\tau}} = \frac{1}{2\sqrt{a_i\tau/x^2}} = 0,5 (N_F)^{-0,5}$$

ed

$$(7) \quad f(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-u^2} du = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{u}{1} - \frac{1}{1!} \cdot \frac{u^3}{3} + \frac{1}{2!} \cdot \frac{u^5}{5} - \dots \right)$$

(1) Cfr. M. Jakob, Heat Transfer, I, 252. Si è supposto implicitamente il mezzo omogeneo e isotropo. Il caso è anche detto del muro semiinfinito. Si veda pure: P. Brunelli, C. Codegone, Termocinetica, Torino, 1964, p. 393.

è la nota funzione integrale di errore o funzione di Gauss, indicata spesso semplicemente con erf (error-function) (v. fig. 2), mentre con $erfc$ se ne indica il complemento a 1 cioè $(1 - erf)$.

È facile verificare che sono soddisfatte le condizioni ai limiti:

$$\begin{aligned} t &= t_i \text{ per } \tau = 0 \\ t &= t_o \text{ per } x = 0 \text{ (} \tau > 0 \text{)} \end{aligned}$$

Ecco alcuni valori numerici della funzione $f(u)$ (2):

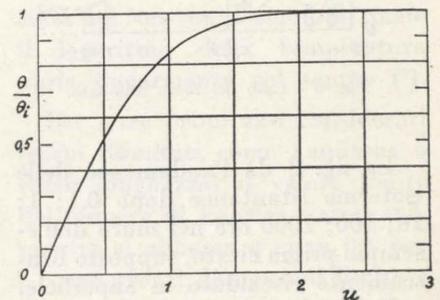


Fig. 2 - Funzione di Gauss.

Per scopi pratici, desiderando soltanto risultati di prima approssimazione, si potrà ritenere $f(u) \sim u$

(2) Cfr. E. Jahnke, F. Emde, Funktionentafeln, Leipzig, 1933, p. 98; come pure l'edizione più recente di tale opera: Jahnke, Emde, Lösch, Tafeln Höherer Funktionen, 1960.

per $u < 0,75$ ed $f(u) \sim 1$ per $u > 1,5$; e cioè:

$$\text{per } u < 0,75; \frac{\theta}{\theta_i} = \sim 0,5 (N_{Fo})^{-0,5}$$

$$\text{e per } u > 1,5; \frac{\theta}{\theta_i} = \sim 1$$

2 — Ad es. per un muro di mattoni, trascurando le piccole disuniformità prodotte dagli strati di malta, sia: $k = 0,8 \text{ W/m}^2\text{C}$; $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$; $c = 870 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$; $a_i = k/\rho c = 0,575 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;

$$N_F = \frac{k}{\rho c} \cdot \frac{\tau}{x^2} = 0,575 \cdot 10^{-6} \frac{\tau}{x^2};$$

$$u = 0,5 (N_F)^{-0,5} = 660x/\sqrt{\tau}.$$

Dopo 1 ora, cioè dopo 3600 secondi, si avrà semplicemente:

$u = 11x$, ed alla profondità di 10 cm, cioè alla distanza di 10 cm dalla superficie ($x = 0,10$) $u = 1,10$; $f(u) = 0,88$.

Si ha cioè, per un brusco riscaldamento superficiale, $\theta = 0,88\theta_i$ e cioè ad es. per $t_i = 0^{\circ}\text{C}$ e $t_o = +20^{\circ}\text{C}$; $\theta_i = 0 - 20 = -20^{\circ}\text{C}$; $\theta = t - 20 = 0,88(-20) = -17,6$; $t = +2,4^{\circ}\text{C}$.

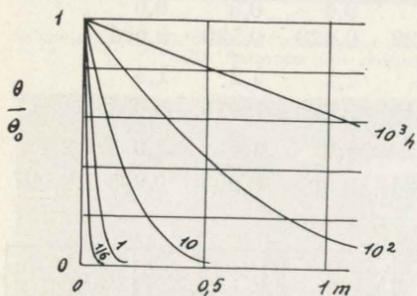


Fig. 3 - Caso del muro illimitato.

La fig. 3 dà l'andamento delle isoterme istantanee dopo 0,1; 1; 10; 100; 1000 ore nel muro dell'esempio prima citato, supposto bruscamente riscaldato in superficie.

Nel caso di un brusco raffreddamento, per es. da $t_i = 20^{\circ}$ a $t_o = 0^{\circ}\text{C}$, si avrebbe $\theta_i = 20$; $\theta = t = 0,88 \cdot 20 = 17,6^{\circ}\text{C}$.

La teoria è utilizzata nelle ricerche geologiche, applicandola al terreno o alle pareti di montagne. La penetrazione del transitorio è ovviamente più lenta nei coibenti, più rapida nei buoni conduttori ed il valore del corrispondente numero

del Fourier sintetizza l'influenza delle differenti caratteristiche.

Il flusso termico nella direzione x attraverso l'unità di area vale:

$$(8) \varphi = -k \frac{\partial \theta}{\partial x} = -k \frac{\partial \theta}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{k\theta_i}{\sqrt{\pi a_i \tau}} e^{-x^2/4a_i \tau}$$

Infatti dalla (5) e dalla (7):

$$(9) \frac{\partial \theta}{\partial u} = \theta_i \frac{\partial [f(u)]}{\partial u} = -\theta_i \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2}$$

e dalla (6):

$$(10) \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{2\sqrt{a_i \tau}}$$

Il valore del flusso entrante (3) nella parete si ottiene ponendo $x = 0$:

$$(11) \varphi_0 = -\frac{k\theta_i}{\sqrt{\pi a_i \tau}}$$

L'energia termica totale entrante nell'intervallo 0, τ diviene:

$$(12) Q_0 = \int_0^{\tau} \varphi_0 d\tau = -\frac{k\theta_i}{\sqrt{\pi a_i}} \int_0^{\tau} \tau^{-1/2} d\tau = -2k\theta_i \sqrt{\frac{\tau}{\pi a_i}}$$

3 — Altre condizioni si verificano quando una sorgente termica è posta bruscamente a contatto della superficie libera e successivamente trasmette ad essa un flusso termico costante (4).

Le nuove condizioni ai limiti sono:

$$(13) \begin{cases} t = 0 & \text{per } \tau = 0 \\ \frac{\partial t}{\partial x} = -\psi & \text{per } x = 0 \\ t = 0 & \text{per } x = \infty \end{cases}$$

avendo per semplicità supposta zero la temperatura iniziale della parete e indicato con ψ una costante dipendente dal valore del flusso.

(3) in senso algebrico.

(4) Anche l'irraggiamento termico può produrre a distanza analoghi effetti.

La nuova soluzione è:

$$(14) t = 2\psi u \sqrt{a_i \tau} \left[\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-u^2} du + \frac{e^{-u^2}}{u\sqrt{\pi}} - 1 \right]$$

Per $x = 0$ (quindi per $u = 0$):

$$(15) |t|_{x=0} = 2\psi \sqrt{\frac{a_i \tau}{\pi}}$$

La temperatura superficiale cresce dunque in proporzione a $\sqrt{\tau}$.

4 — Casi meno semplici del precedente, interessanti la siderurgia e molte altre applicazioni tecniche sono i seguenti:

- I. parete o lastra piana di ampiezza illimitata, ma di spessore finito.
- II. sbarra di sezione quadrata e di lunghezza illimitata;
- III. cilindro di sezione circolare e di lunghezza illimitata;
- IV. cubo;
- V. cilindro di sezione circolare e di lunghezza pari al diametro;
- VI. sfera.

Si suppone che questi solidi, inizialmente alla temperatura uniforme t_i , al tempo $\tau = 0$ siano portati superficialmente e bruscamente alla temperatura t_s .

Si pone $\theta = t - t_s$; e quindi $\theta_i = t_i - t_s$;

— Nel caso della lastra piana, con trasmissione simmetrica dalle due facce, la soluzione è

$$(16) \frac{\theta}{\theta_i} = \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{2}{\varphi_{\nu} \sin \varphi_{\nu}} \cdot e^{-\varphi_{\nu}^2 (N_F)_s} \cdot \cos\left(\varphi_{\nu} \cdot \frac{x}{s}\right)$$

in cui le x , positive o negative, sono contate dal piano mediano della lastra stessa, s ne è il semispessore,

$$(17) \varphi_{\nu} = \frac{2\nu - 1}{2} \pi; (N_F)_s = a_i \frac{\tau}{s^2} = \frac{k}{\rho c} \frac{\tau}{s^2};$$

e la sommatoria va estesa a valori interi e positivi di ν (che annullano $\cos \varphi_{\nu}$).

— Nel caso del cilindro di lunghezza illimitata si ha:

$$(18) \frac{\theta}{\theta_i} = \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{2}{\beta_{\nu} J_1(\beta_{\nu})} e^{-\beta_{\nu}^2 (N_F)_s} \cdot J_0\left(\beta_{\nu} \frac{r}{s}\right)$$

in cui il raggio generico, s quello massimo, $(N_F)_s$ ha la stessa espressione (17), J_0 è la funzione cilindrica di Bessel di prima specie e di ordine zero, J_1 è l'analogo del primo ordine, β_{ν} è la radice ν esima che annulla $J_0(\beta_{\nu})$, essendo la sommatoria estesa a tali radici positive.

La funzione di Bessel di prima specie e di ordine p è data dalla serie:

$$(19) J_p(x) = \frac{(x/2)^p}{0! p!} - \frac{(x/2)^{p+2}}{1!(p+1)!} + \frac{(x/2)^{p+4}}{2!(p+2)!} \dots$$

serie che soddisfa l'equazione di Bessel di ordine p :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dy}{dx} + \left(1 - \frac{p^2}{x^2}\right) y = 0$$

L'andamento è in qualche modo analogo a quello di sinusoidi di cui l'ampiezza va attenuandosi al crescere di x (v. fig. 4 per J_0 e J_1).

Sono pubblicate (5) tabelle piuttosto estese di queste funzioni e per tale motivo il loro impiego è abbastanza agevole.

Ecco alcuni capisaldi di tali funzioni, dati a titolo di orientamento.

x	$J_0(x)$	$J_1(x)$	x	$J_0(x)$	$J_1(x)$	x	$J_0(x)$	$J_1(x)$
0	+1,000	0,000	5	-0,178	-0,328	10	-0,246	+0,043
0,5	+0,938	+0,242	5,5	-0,007	-0,341	10,5	-0,237	-0,079
			5,52	0,000	-0,340			
1	+0,765	+0,440	6	+0,151	-0,277	11	-0,171	-0,177
1,5	+0,512	+0,558	6,5	+0,260	-0,154	11,5	-0,068	-0,228
						11,79	0,000	-0,232
2	+0,224	+0,577	7	+0,300	-0,005	12	+0,048	-0,223
2,405	0,000	+0,519						
2,5	-0,048	+0,497	7,5	+0,266	+0,135	12,5	+0,147	-0,165
3	-0,260	+0,339	8	+0,172	+0,235	13	+0,207	-0,070
3,5	-0,380	+0,137	8,5	+0,042	+0,273	13,5	+0,215	-0,038
			8,65	0,000	+0,271			
4	-0,397	-0,066	9	-0,090	+0,245	14	+0,171	+0,133
4,5	-0,320	-0,231	9,5	-0,194	+0,161	14,5	+0,087	+0,193
						14,93	0,000	+0,206
						15	-0,014	+0,205

I primi cinque valori di β che annullano J_0 sono indicati nella tabella (6).

(5) Si vedano le « Funktionentafeln » di Jahnke e Emde già citate (1933) a pag. 228 e segg.

(6) Si vedano le stesse tabelle a pag. 237.

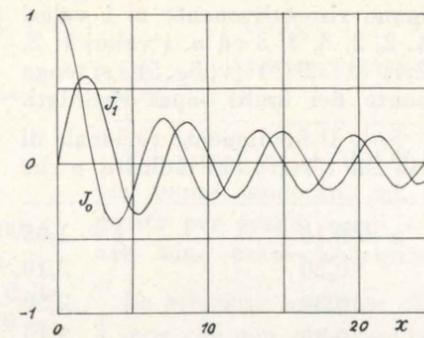


Fig. 4 - Funzioni di Bessel di ordine 0 e 1.

La differenza, e quindi ν , l'analogo del periodo, si mantiene

$[N_{Fo}]_s$	I lastra spessore 2s	II sbarra a sez. quadrata lato 2s	III cilindro illim. diametro 2s	IV cubo lato 2s	V cilindro h=d diametro 2s	VI sfera diametro 2s
0	1	1	1	1	1	1
0,032	1,000	1,000	0,999	1,000	0,999	0,998
0,080	0,975	0,951	0,918	0,927	0,895	0,828
0,100	0,949	0,901	0,848	0,856	0,805	0,707
0,160	0,846	0,715	0,627	0,605	0,530	0,409
0,240	0,702	0,493	0,399	0,346	0,280	0,187
0,320	0,578	0,334	0,252	0,193	0,145	0,085
0,800	0,177	0,031	0,016	0,006	0,003	0,001

quasi costante intorno a 3,14, sicché si può scrivere: $\beta_{\nu} \cong 2,40 + 3,14(\nu - 1)$.

In genere i primi termini delle serie sono di gran lunga i più importanti.

— Nel caso della sfera si ha:

$$(20) \frac{\theta}{\theta_i} = \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{2}{\cos(\nu\pi)} e^{-(\nu\pi)^2 (N_F)_s} \cdot \frac{\sin\left(\nu\pi \frac{r}{s}\right)}{\nu\pi \frac{r}{s}}$$

sommatoria va estesa a valori interi e positivi di ν [che annullano $\sin(\nu\pi)$].

E. D. Williamson e L. H. Adams (7) hanno sottoposto al calcolo numerico questi casi, come gli altri prima elencati e di soluzione meno agevole, fornendo valori di θ/θ_i al variare di N_{Fo} per la zona o il punto centrale di tali solidi. Per chiarezza chiameremo tale rapporto θ_c/θ_i essendo $\theta_c = t_c - t_s$; $\theta_i = t_i - t_s$; $r = 0$.

Ecco alcuni di tali valori:

La fig. 5 mostra che per valori non troppo piccoli di N_F l'andamento del fenomeno diviene rettilineo, prevalendo il primo termine delle serie, cioè diviene, come anche suol dirsi, « newtoniano », in quanto segue la legge semplice

di raffreddamento dei corpi enunciate dal Newton, secondo la quale il logaritmo della temperatura varia linearmente col tempo (8).

Per i tre primi casi considerati (corpi illimitati come ampiezza o come lunghezza) il valore limite del numero di Fourier è circa 0,2, mentre si abbassa a circa 0,1 per i corpi aventi dimensioni limitate (cubo, cilindro corto, sfera).

Al disopra di tali limiti si può dunque scrivere, con approssima-

(7) Cfr. Phys. Rev. 14 (1919) 99. Questi Autori risolvono pure i casi dei cilindri di lunghezza arbitraria, dei parallelepipedi rettangoli di lunghezza finita e infinita.

(8) Cfr. C. Codegone, Ancora sulla rapida valutazione della conduttività termica, Atti Acc. Scienze Torino, vol. 89 (1954-55).

zione sufficiente per scopi pratici:

$$(21) \log \frac{\theta_c}{\theta_i} = a - b [N_F]_s$$

assumendo le costanti a e b i seguenti valori:

I	lastra	a = 0,10	b = 1,05
II	sbarra quadrata	0,20	2,10
III	cilindro illimitato	0,20	2,50
IV	cubo	0,30	3,15
V	cilindro corto	0,30	3,60
VI	sfera	0,30	4,30

È notevole la coincidenza dei valori di a nei tre ultimi casi e il fatto che cambiando semplicemente la scala delle ascisse (che è proporzionale ai tempi) i casi I, II, IV vengano a coincidere.

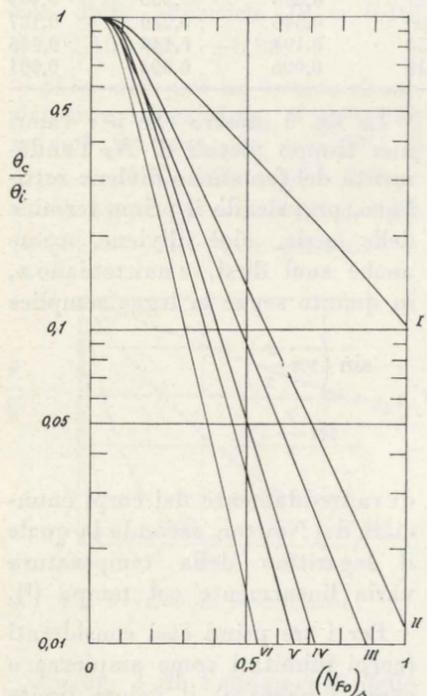


Fig. 5 - I, lastra - II, sbarra a sez. quadrata - III, cilindro illimitato - IV, cubo - V, cilindro (L=D) - VI, sfera.

Non sembra che tale osservazione sia stata fatta finora.

Ponendo:

$$(22) Y = \log \frac{\theta_c}{\theta_i} - 0,1 (m - 1);$$

$$X = 1,05n [N_F]_s$$

si può, in prima approssimazione, scrivere:

$$(23) Y = 0,1 - X$$

quando nei casi considerati assu-

mano rispettivamente m i valori 1, 2, 2, 3, 3, 3 ed n, i valori 1, 2, 2,4; 3; 3,5; 4 (v. fig. 5) e si tenga conto dei limiti sopra ricordati.

5 - Il fondamento razionale di ciò che è stato ora indicato, e che

è molto utile in pratica e facilmente dimostrabile.

Nel caso della lastra limitando il calcolo al 1° termine della serie indicata nella formula (16) si ha per $x = 0$ e $\varphi_1 = \pi/2$ (piano meridiano):

$$(16') \frac{\theta_c}{\theta_i} = \frac{2}{(\pi/2) \sin(\pi/2)} e^{-(\pi/2)^2 N_F} \cdot \cos 0 = \frac{4}{\pi} e^{-(\pi/2)^2 N_F}$$

da cui, passando ai logaritmi:

$$(16'') \log_{10} \frac{\theta_c}{\theta_i} = \log_{10} \frac{4}{\pi} - \frac{\pi^2}{4 \cdot 2,302} N_F = 0,105 - 1,07 N_F$$

Il secondo termine della serie $[-e^{-(3\pi/2)^2 N_F}]$ è negativo e già per $N_F = 0,2$ è dell'ordine del 2% del primo.

Nel caso del cilindro illimitato limitando il calcolo come sopra, dalla (18) per $r = 0$ (asse) e per $\beta_i = 2,405$; $J_i(\beta_i) = + 0,519$, si ha:

$$(18') \frac{\theta_c}{\theta_i} = \frac{2}{2,405 \cdot 0,519} e^{-(2,405)^2 N_F} \cdot 1 = 1,604 \cdot e^{-(2,405)^2 N_F}$$

da cui

$$(18'') \log_{10} \frac{\theta_c}{\theta_i} = \log_{10} 1,604 - \frac{(2,405)^2}{2,302} N_F = 0,205 - 2,51 \cdot N_F$$

Il 2° termine della serie

$$\frac{2}{5,52 (-0,340)} e^{-(5,52)^2 N_F}$$

è negativo già per $N_F = 0,1$ e vale circa il 4% del primo.

Nel caso della sfera limitando il calcolo al 1° termine della (20) per $r = 0$ (centro) e per $\nu = 1$ si ha:

$$(20') \frac{\theta_c}{\theta_i} = \frac{2}{-\cos \pi} e^{-\pi^2 N_F} \cdot \cos 0 = 2 e^{-\pi^2 N_F}$$

$$\text{poiché } \lim_{r \rightarrow 0} \left[\sin \nu \pi \frac{r}{s} \right] : \nu \pi r s = \cos \nu \pi \frac{r}{s}$$

$$(20'') \log_{10} \frac{\theta_c}{\theta_i} = \log_{10} 2 - \pi^2 N_F = 0,301 - 4,28 N_F$$

Il 2° termine della serie $-2 e^{-(2\pi)^2 N_F}$

è negativo e già per $N_F = 0,1$ vale soltanto il 5% circa del primo. Nelle (16') (18') (20') per semplicità di notazione si è scritto N_F

in luogo di $(N_F)_s = a_i \frac{\tau}{s^2}$ (Numero di Fourier calcolato per x, o rispettivamente per r, uguale ad s).

Facendo variare x, o rispettivamente r, fra 0 ed s si può calcolare l'andamento del corrispondente θ .

Ad es. nel caso della sfera, per $(N_F)_s = 0,1$ si ha dalla (20)

$\frac{r}{s}$	0	0,25	0,50	0,75	1
$\theta_r/\theta_i =$	0,707	0,647	0,474	0,232	0

e per $(N_F)_s = 0,4$

$\frac{r}{s}$	0	0,25	0,50	0,75	1
$\theta_r/\theta_i =$	0,039	0,035	0,025	0,012	0

6 - Per fare un esempio numerico supponiamo che una sfera d'acciaio di 30 mm di diametro e alla temperatura di 820°C sia bruscamente immersa in olio a 20°C per subirvi l'operazione di tempera, assumendo la superficie la stessa temperatura dell'olio.

Sia la diffusività termica media: $a_i = 4,5 \cdot 10^{-6} m^2/s$. In tal caso:

$$N_F = 4,5 \cdot 10^{-6} \frac{\tau}{(0,015)^2} = 0,02\tau$$

Dopo 10 secondi e cioè per $N_F = 0,2$ si ottiene:

$$\log \frac{\theta_c}{\theta_i} = 0,300 - 4,28 \cdot 0,2 = -0,556$$

$$\theta_c/\theta_i = 0,278$$

e poichè $\theta_i = 820 - 20 = 800^\circ C$, si ricava $\theta_c = 222^\circ = t_c - t_s$.

La temperatura t_c al centro della sfera diviene dunque, dopo 10 secondi $222 + 20 = 242^\circ C$, s'intende nei limiti di approssimazione delle premesse.

Il cosiddetto « tempo di dimezzamento » di θ_i , corrispondente a $\log(1/2) = -0,301$, si ricava da:

$$-0,301 = 0,300 - 4,28 \cdot 0,02 \tau$$

e vale quindi circa 7 secondi.

7 - Un altro caso interessante riguarda un foro cilindrico infinitamente lungo a sezione circolare, praticato in una massa illimitata.

Questi casi sono stati trattati (9) col metodo della trasformata di Laplace (10), cioè della funzione \bar{t} , della variabile complessa p, che rispetto alla $t(\tau)$ gode della proprietà:

$$(24) \bar{t}(p) = \int_0^\infty e^{-p\tau} \cdot t(\tau) d\tau$$

Di molte funzioni sono note tali trasformate.

Siano s il raggio del foro, r quello generico, t_i la temperatura iniziale, t_s quella che bruscamente, per $\tau = 0$, assume la superficie del foro stesso mantenendola poi stabilmente per $\tau > 0$.

Si ponga ancora: $\theta = t - t_i$; $\theta_s = t_s - t_i$.

È utile paragonare i risultati di questo caso con quelli della parete piana semiinfinita; in particolare paragonare, a parità di $(N_F)_s$, i rapporti adimensionali fra i flussi liminari φ_s per $r = s$, riferiti alla stessa area $2\pi sL$, ed i prodotti $kL\theta_s$.

(9) Cfr. H. S. CARSLAW e J. C. JAEGER, *Conduction of heat in solids*, 2ª Ed., 1959, § 13, pag. 327. Si veda pure a pag. 207 la soluzione per il cilindro cavo (tubo) intermedia fra quelle della lastra e del cilindro massiccio.

(10) Cfr. A. GHIZZETTI, *Calcolo simbolico*, Bologna, 1943.

$(N_F)_s$	= 0,001	0,01	0,1	1	2	3
$\frac{\varphi_s}{kL\theta_s}$ { parete piana	= 112	35	11	3,5	2,5	2,0
{ foro	= 115	38	14	6,2	5,0	4,5

Per piccoli valori di $(N_F)_s$, cioè per tempi moderati, od, ovviamente per grandi raggi s, i due casi sono pressoché equivalenti.

La soluzione analitica dà luogo a serie che non sono rapidamente convergenti.

La fig. 6 fornisce i valori di t/t_s in funzione di $\log(r/s)$ al variare di $(N_F)_s$. Per t/t_s maggiore di circa 0,3 l'andamento è pratica-

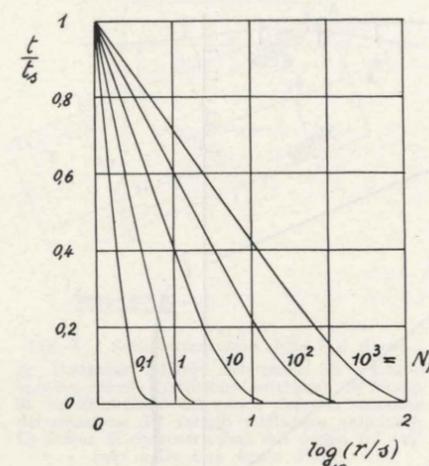


Fig. 6.

mente rettilineo e può approssimarsi con relazioni del tipo:

$$(25) \frac{t}{t_s} = 1 - b \log_{10} \frac{r}{s}$$

in cui

$$b = \sim 5,5 \quad 2,1 \quad 1,2 \quad 0,8 \quad 0,6$$

per $(N_F)_s =$

$$0,1 \quad 1 \quad 10 \quad 10^2 \quad 10^3$$

Per calcoli di prima approssimazione, quando $(N_F)_s$ sia maggiore di circa 0,3 si può porre:

$$(26) b = \frac{2,6}{1,3 + \log_{10} (N_F)_s}$$

e quindi

$$(27) \frac{\theta}{\theta_i} = 1 - \frac{2 \log \frac{r}{s}}{1 - 0,77 \log (N_F)_s}$$

Il flusso superficiale φ_s riferito all'unità di area si può dedurre

dalla seguente tabella, relativa a gruppi adimensionali.

$$\log_{10} (N_F)_s =$$

-2	-1	0	1	2	3
----	----	---	---	---	---

$$\log_{10} \frac{\varphi_s}{k\theta_s/s} =$$

$$0,80 \quad 0,35 \quad 0 \quad -0,27 \quad -0,46 \quad -0,60$$

8 - I casi precedentemente esaminati suppongono che al tempo $\tau = 0$ si stabilisca istantaneamente alla superficie del solido studiato un contatto ottimo con la sorgente a temperatura t_0 costante nel tempo.

Ciò corrisponde ad un valore idealmente infinito (e praticamente molto grande) del coefficiente h di scambio termico liminare fra sorgente e superficie in esame.

Se tale coefficiente non è grande (come avviene per aeriformi o per liquidi stagnanti o poco mossi) occorre scrivere la nuova condizione ai limiti nella forma seguente:

$$(28) -k \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_s = h\theta_s$$

in cui θ è la differenza fra la temperatura generica in un punto del solido considerato e la temperatura dell'ambiente in cui viene bruscamente immerso, x è la coordinata generica rispetto alla zona centrale, l'indice s significa che le corrispondenti grandezze sono riferite alla superficie del solido.

Anche questi casi, per i solidi di forma più comune, sono stati molto studiati (11).

Le condizioni dello scambio termico liminare sono qui caratterizzate dal cosiddetto numero del Biot:

$$N_{Bi} = \frac{hx}{k}$$

nel quale, a differenza del numero del Nusselt, di analoga espressione, k è il coefficiente di conduzione termica del solido in esame e « non » del fluido che lo lambisce.

(11) Cfr. fra gli studi più recenti: G. RIBAUD, *Conduction de la chaleur en régime variable*, Paris, 1960; V. GRIGULL, *Temperaturausgleich in einfachen Körpern*, Berlin 1964; I. J. PFLUG, J. L. BLAISDELL, *A.S.H.R.A.E. Journ.*, Nov. 1963, p. 33.

Le soluzioni analitiche hanno struttura analoga, ma risultano più complicate delle precedenti e quindi danno luogo a calcoli più laboriosi, risultando esse funzioni non soltanto di x/s (o di r/s) e di N_F ma altresì di N_{Bi} .

A mostrar ciò valga l'esempio della lastra piana illimitata di spessore $2s$ con trasmissione termica da entrambe le facce per la quale vale ancora l'equazione (16), in cui però gli autovalori φ_n sono le soluzioni dell'equazione trascendente:

$$(29) \cot \varphi = \frac{\varphi}{N_{Bi}}$$

e quindi sono funzioni di N_{Bi} .

I risultati relativi a θ_c/θ_i per i tre casi tipici della lastra di cui sopra, del cilindro illimitato a sezione circolare e della sfera sono rappresentati in fig. 7, la quale mostra andamenti quasi rettilinei per tutti i casi.

Poichè, a parità di altre condizioni, N_F è proporzionale al tempo τ , risultano quasi rettilinei anche gli andamenti in funzione del tempo.

In realtà, come mostra qualitativamente la fig. 8, è soltanto una particolare zona intermedia dei solidi esaminati che segue esattamente l'andamento rettilineo o « newtoniano »; le altre zone lo

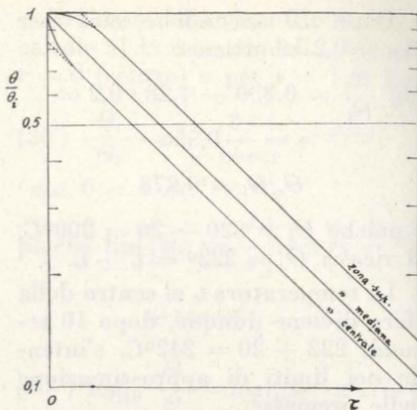


Fig. 8 - Curve di raffreddamento.

seguono praticamente pure, ma con anticipo o con ritardo, secondo la loro distanza dalla superficie libera.

La conclusione è utile anche sotto l'aspetto sperimentale, nei riguardi di corpi di forma meno regolare della precedente.

Dalla fig. 7 si deduce, in via di approssimazione, che per $N_{Fo} > 0,2$ e per N_{Bi} costante si può scrivere

$$(30) \log_{10} \frac{\theta_c}{\theta_i} \cong -b N_F$$

In via di esempio le costanti b si potranno ricavare dalla tabella seguente:

	$N_{Bi} = 0,1$	1	10
lastra	0,042	0,29	0,80
cilindro	0,083	0,62	1,86
sfera	0,128	1,00	2,22

I valori corrispondenti a $N_{Bi} = \infty$ sono stati indicati al § 4.

Per $N_F > 0,2$ ed $N_{Bi} > 0,01$, M. P. Heisler (12) ha fornito grafici che sostanzialmente corrispondono alla semplice relazione:

$$(31) \ln \frac{\theta_c}{\theta_i} = -m N_{Fo} N_{Bi}$$

in cui il logaritmo è neperiano e:

- $m = 1$ per la lastra
- $m = 2$ per il cilindro
- $m = 3$ per la sfera

mentre i gruppi adimensionali N_{Fo} ed N_{Bi} sono calcolati rispetto alle coordinate superficiali.

Cesare Codegone

(12) Cfr. M. JAKOB, loc. cit., pag. 291.

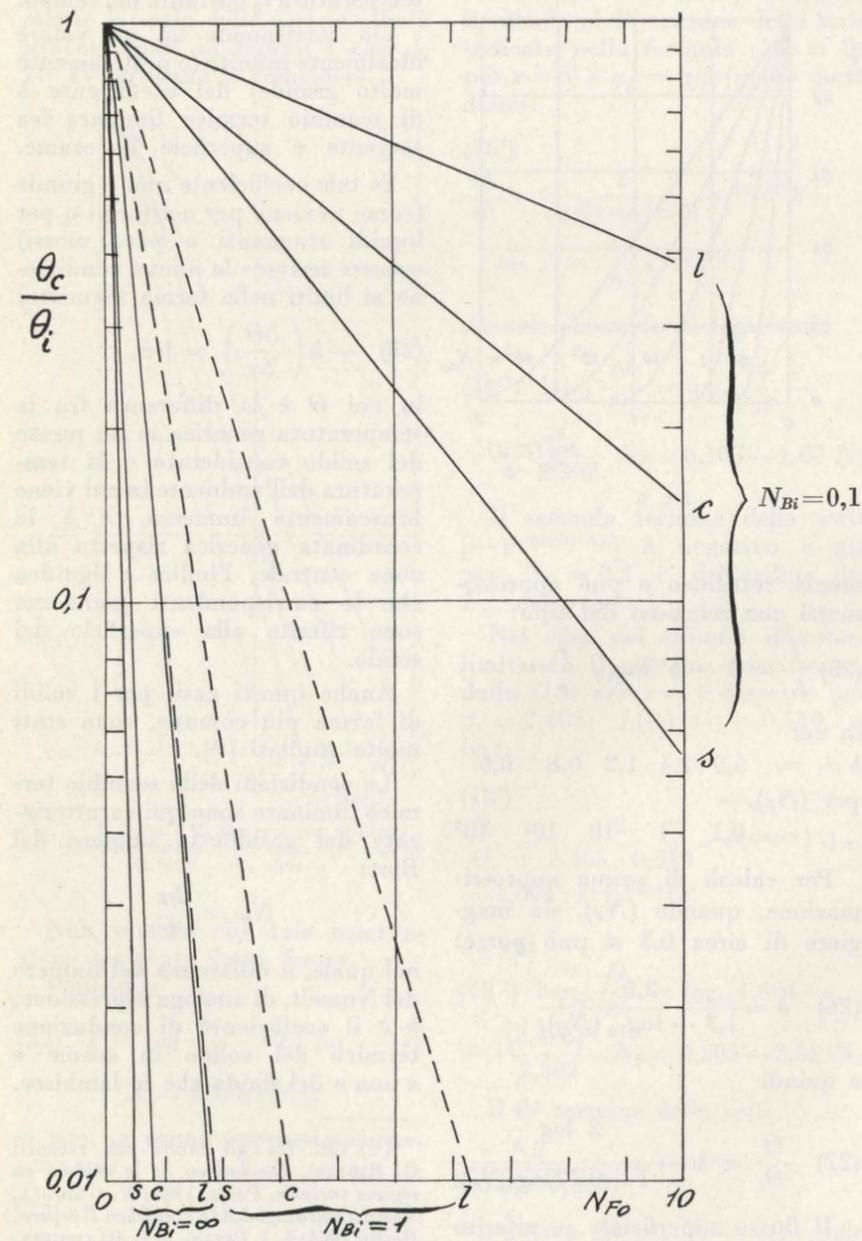


Fig. 7 - s, sfera - c, cilindro - l, lastra.

Le barriere di sicurezza - Studi ed esperienze

CESARE CASTIGLIA, attraverso successive approssimazioni del problema e sulla base di una schematizzazione delle fasi d'urto, mette in evidenza le caratteristiche fondamentali delle barriere di sicurezza stradali. Dopo avere proposto una classificazione basata sulla deformabilità globale della barriera, dà notizia di alcune prove d'urto al vero su barriere di barriere in calcestruzzo di tipo semirigido, ricavandone dati di accettazione statica.

1. È ben noto come le funzioni che le barriere di sicurezza stradali devono in generale assolvere possono essere così sintetizzate:

- impedire che il veicolo esca di strada
- impedire che il veicolo invada la corsia di marcia contrapposta.

Queste funzioni fondamentali, qui genericamente espresse, comportano la risoluzione di tutta una serie di problemi ancora non perfettamente impostati data la non completa conoscenza teorica dei fenomeni e delle variabili in gioco.

Tralasciando però in prima analisi di esaminare in dettaglio i dati variabili, è oggi concordemente riconosciuto come le due funzioni principali di cui prima si è detto (e che si compendiano nel fatto che la barriera non deve essere superata) è necessario vengano assolute in modo da rispettare il principio del minimo danno: agli occupanti il veicolo urtante, al veicolo stesso e agli altri utenti della strada.

Il problema ottiene così una successiva approssimazione in quanto, ancora nella considerazione di elementi generici, il rapporto veicolo-barriera dovrà comportare:

- una bassa decelerazione del veicolo
- un urto senza ribaltamento o rovesciamento
- un angolo di riflessione tale che il veicolo non ritorni pericolosamente sulla propria carreggiata

2. Un'impostazione siffatta del problema induce ora una più accurata indagine dei fattori in gioco. Di questi alcuni vengono ordinariamente presi in considerazione

nelle indagini teorico-sperimentali, altri considerati meno importanti trascurati. Fra i primi: il rapporto fra le masse in gioco nelle varie fasi dell'urto e l'elasticità di alcune parti della carrozzeria e della barriera.

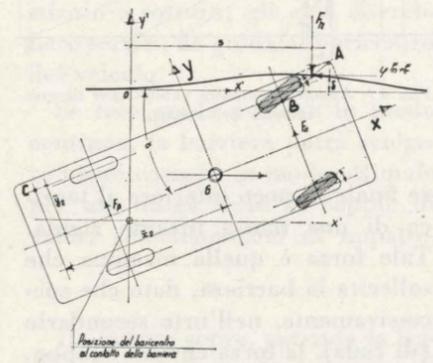


Fig. 1 - Schematizzazione delle fasi d'urto. A) Posizione iniziale del punto di contatto barriera-veicolo (collisione anteriore); B) Punto di concentrazione del carico dopo la massima deformazione del veicolo (collisione anteriore); C) Punto di concentrazione del carico sul veicolo nella fase finale d'urto.

Per ottenere infatti una decelerazione di modesta grandezza (compresa fra i 2 e 4 g per velocità sino ai 70-75 km/h) è necessario che la trasformazione dell'energia d'urto del veicolo in lavoro di deformazione della carrozzeria e della barriera avvenga con assoluta gradualità. Tale risultato è legato a tre fasi dell'urto (fig. 1):

- 2.1. impatto di un elemento molto deformabile della carrozzeria (in genere paraurti e parafranghi) sulla barriera
- 2.2. urto di un elemento rigido dell'auto (in genere il semi-asse anteriore) sulla barriera
- 2.3. urto di fianco e coda del veicolo contro il nastro.

Risulta pertanto che nelle diverse fasi di decelerazione entrano in gioco primario le caratteristiche elastiche dell'autoveicolo, la legge

sforzi-deformazioni della barriera, e il materiale componente i nastri (per il coefficiente d'attrito relativo al veicolo).

Nei fenomeni di ribaltamento e rovesciamento intervengono i fattori geometrici di veicolo e barriera (1). Infatti è ben chiaro come una barriera troppo bassa (in rapporto al baricentro del veicolo) sia facilmente superabile (accelerazioni atte a far ruotare il veicolo attorno ad un asse orizzontale) mentre un nastro posto in posizione troppo elevata tende a provocare il rovesciamento all'indietro del veicolo stesso.

Per quel che riguarda l'angolo di riflessione, tale cioè da procurare o meno danno agli altri utenti la strada, il problema presenta tre aspetti sostanzialmente diversi:

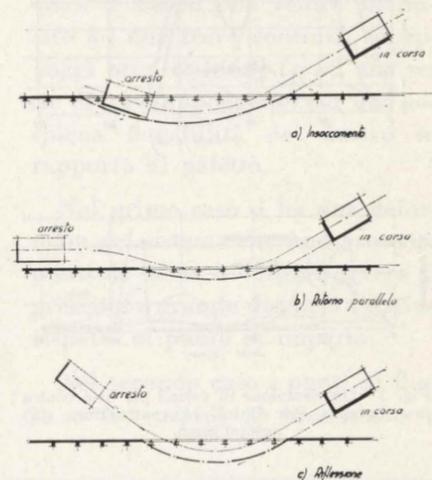


Fig. 2 - Comportamenti tipo del veicolo contro la barriera.

- riflessione nulla, il che comporta l'inscambiabile del veicolo oltre la linea iniziale tracciata dalla barriera;
- riflessione con angolo diverso

(1) Baricentro, posizione del mozzo, sua altezza da terra. Posizione dei nastri.

da zero ma contenuto entro pochi gradi, il che comporta un iniziale strisciamento del veicolo sulla barriera e il suo trascurabile allontanamento da questo;

— riflessione con angolo tale da recare intralcio alla circolazione.

In tutti e tre i casi è la resistenza e l'elasticità della barriera, nel suo complesso di rapporti nastro-piedritti e piedritto-terreno, che provocano le diverse risposte del veicolo.

3. Il modello matematico che permette l'analisi di molte delle variabili prima esplicitate, si basa sulla ricerca delle forze con cui il veicolo risponde alla deformazione elastica o anelastica della barriera stessa.

Le più importanti di tali forze, fra le molteplici che si possono effettivamente sviluppare, sono quel-

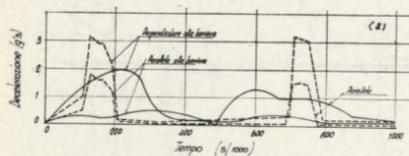
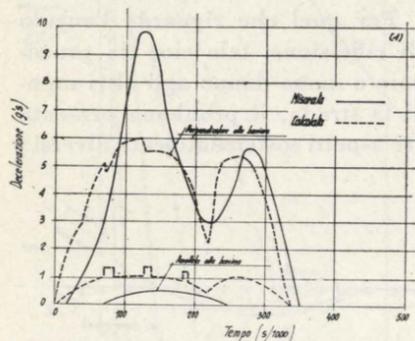


Fig. 3 - Decelerazione di veicoli per urto contro una barriera (Mc Alpin). (1) autovettura; (2) autopullman.

le che tendono a manifestarsi nelle tre fasi d'urto prima schematizzate.

Nel primo urto frontale una piccola quantità dell'energia totale viene dissipata dalla deformazione di una parte del veicolo, parte che può venire considerata altamente deformabile in rapporto alla rigi-

dezza della barriera. In tal modo nel passaggio dal punto originale di impatto (A) al punto (B), ove la barriera incontra un punto rigidamente collegato al baricentro del veicolo, l'azione esercitata dal veicolo può venire considerata linearmente crescente, con un valo-

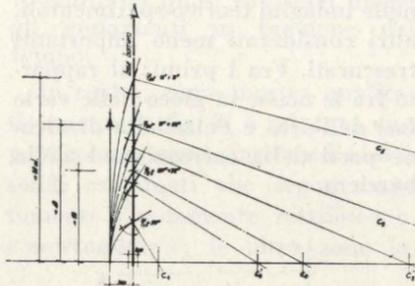


Fig. 4 - Angoli di impatto valutati per diverse velocità del veicolo.

re finale di poco inferiore al teorico di una massa urtante rigida. Tale forza è quella massima che sollecita la barriera, dato che successivamente, nell'urto secondario (di coda), la forza che si sviluppa, considerata spostata da B a C lungo una linea parallela all'asse della barriera, è già inferiore alla precedente (fig. 3).

Nel modello adottato per l'elaborazione elettronica dei dati, le forze fra pneumatici e terreno sono considerate applicate all'intersezione fra gli assi anteriore (F_a) e posteriore (F_p) e l'asse longitudinale del veicolo.

4. La forza che si oppone allo scivolamento del veicolo lungo la barriera sarà composta da due termini: il primo dipenderà dal coefficiente d'attrito fra la barriera e veicolo ed il secondo dalla presenza dei ritti infissi al suolo.

Dalla possibilità o meno di poter considerare tale forza distribuita lungo l'asse o concentrata in punti dipende in gran parte l'efficienza della barriera.

La determinazione teorica dell'angolo di impatto può venire agevolmente fatta partendo dall'equazione di equilibrio allo sbandamento. Nella fig. 4 sono stati

tracciati alcuni angoli di impatto per velocità di 10 - 20 - 30 e 40 m/sec., sviluppando in prima approssimazione l'equazione che presuppone la completa rigidità del veicolo, e risolvendo poi, per ottenere i valori minimi, la formula di Derron.

Si intende che l'impostazione del problema generale dell'urto così come prima schematizzato per una immediata applicazione alle prove su scala reale, non può valere per quei sicurvia (fig. 5) che si impegnano ad assolvere i loro compiti fondamentali per raddrizzamento della ruota anteriore dei veicoli.

5. In ogni caso è la legge sforzi-deformazioni della barriera complessiva (nastri più paletti) che determina le reazioni del veicolo nelle varie fasi d'urto.

Le caratteristiche di una barriera vanno quindi definite oltre che con le resistenze alla sollecitazione di flessione del ritto e del nastro e di trazione del giunto fra pezzi di nastro successivi, anche dalla deformabilità del complesso in sito, con particolare riferimento alle modalità di infissione del ritto nel terreno. Si tenderà così a ridurre al minimo l'incertezza dovuta alla variabile paletto-nastro e paletto-terreno.

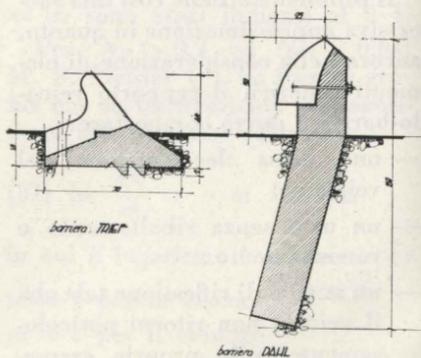


Fig. 5 - Tipi di sicurvia che agiscono per raddrizzamento e frenatura sulla ruota anteriore.

6. Assai arduo sarebbe comunque esaminare tutte le variabili del problema connesse al tipo di vei-

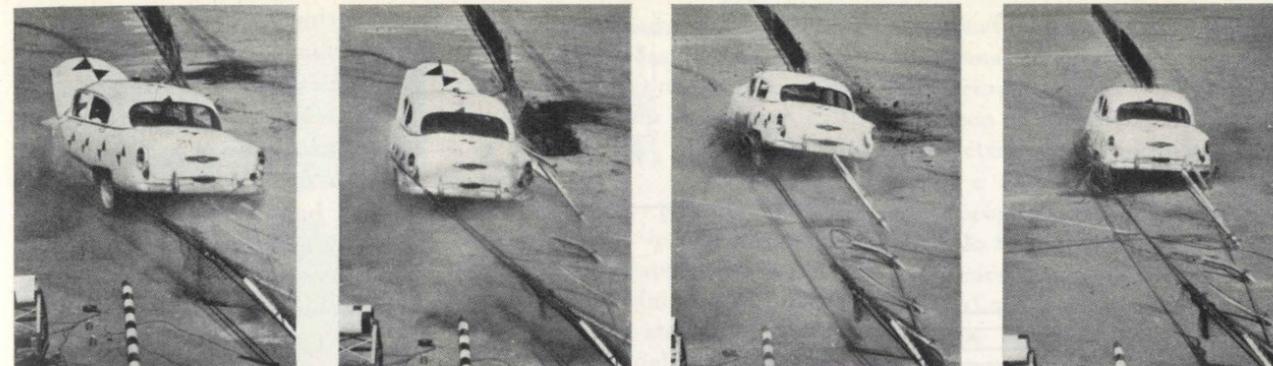


Fig. 6 - Prova di un veicolo contro barriera a cavi (HRB Bollettino n. 266).

colo e alle sue condizioni all'impatto.

Da quanto sopra si è detto possono dedursi delle utili indicazioni su più di un elemento di progetto. In particolare sembra emergere una chiara posizione teorica:

— La fase d'urto di maggiore importanza è quella individuabile come seconda anteriore (urto di veicolo rigido contro barriera elastica). Per il miglior svolgimento del fenomeno è necessario ottenere in tale fase trasformazioni anelastiche sia sul nastro che sul paletto mantenendo sempre efficace la funzione di guida della barriera.

In tale fase il mozzo della ruota anteriore e il baricentro del veicolo devono essere successivamente « sostenuti » cioè devono disporre di punti di appoggio, per ottenere una coppia stabilizzante.

Essendo tale altezza posta in almeno due posizioni base (vettura ordinaria o autoveicolo industriale) sarebbe necessaria una molteplicità di elementi posti a diverse altezze.

Di tali elementi uno dovrebbe entrare a diretto contatto con il

mozzo, pervenendo in regime plastico o a rottura; gli altri dovrebbero servire da guida al baricentro del veicolo.

Se tale guida avviene in modo continuo, la barriera potrà svolgere i suoi compiti in modo ottimale per una larga serie di coppie di valori velocità-angolo di impatto.

Da quanto sopra, potendo la legge sforzi-deformazioni assumere un determinato andamento in rapporto a:

- resistenza e deformabilità del paletto infisso
- resistenza e deformabilità dei nastri

può farsi derivare una classica tipologia delle barriere di sicurezza:

- 6.1. barriere la cui legge sforzi-deformazioni è indipendente dal punto di applicazione del carico
- 6.2. barriere in cui la legge varia sostanzialmente se il carico è applicato in corrispondenza del nastro o del piedritto.

In linea teorica esse precisano un tipo di barriera a deformazione continua da un tipo discontinuo.

Al primo tipo (6.1) possono considerarsi appartenere le barriere prive di piedritti con appoggio diretto continuo sul terreno, quelle a cavi (con un distanziamento dei piedritti tale da permettere di trascurarne staticamente la presenza) e quelle con piedritti sufficientemente cedevoli in rapporto alla rigidità di insieme dei nastri.

Alla seconda categoria (6.2) appartengono quelle barriere nelle quali il nastro può venire assimilato ad una trave continua su appoggi poco cedevoli (o ad una serie di travi appoggiate) per una cospicua flessibilità del nastro in rapporto al paletto.

Nel primo caso si ha una deformata del sistema che non presenta punti di flesso o cuspidi ovvero li presenta a grande distanza relativa rispetto al punto di impatto.

Nel secondo caso i punti di flesso o le cuspidi si presentano a

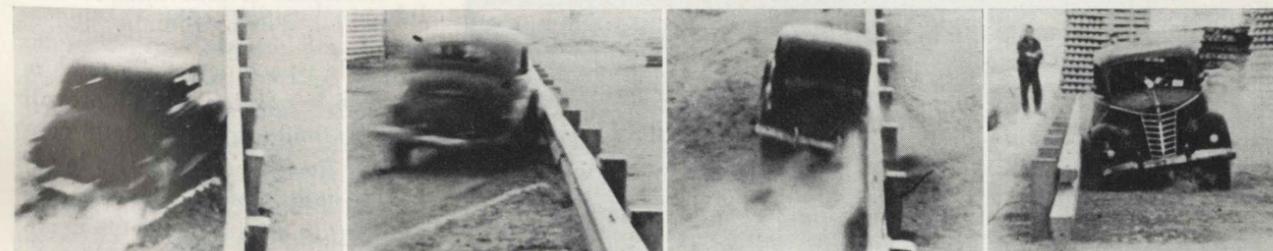


Fig. 7 - Prova di un veicolo contro barriera in calcestruzzo semirigida (COPRA - Torino).

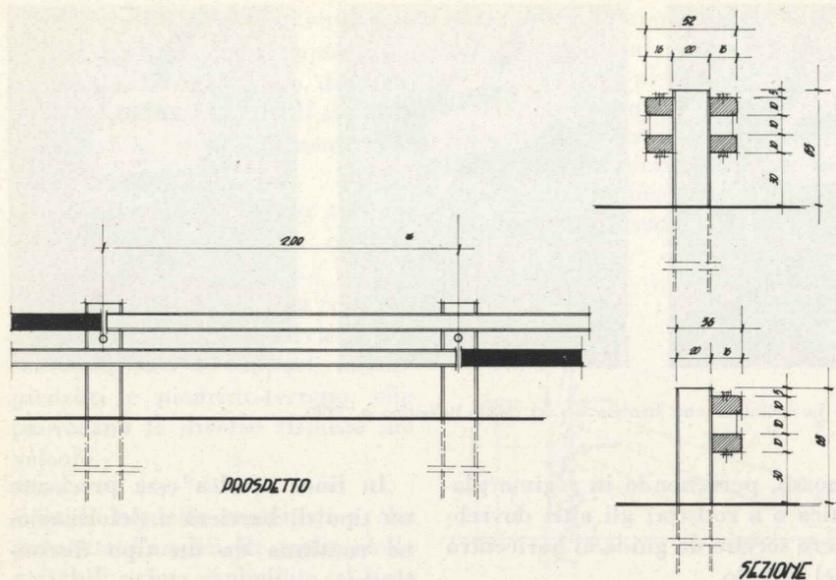


Fig. 8 - Barriera COPRA in calcestruzzo semplice o doppia.

brevissima distanza dal punto di impatto, provocando il fenomeno dell'insaccamento localizzato.

Sia nel primo che nel secondo caso si hanno le possibilità di grandi medie o piccole deformazioni.

Si potrà definire l'entità della deformazione in rapporto alla posizione del baricentro del veicolo rispetto alla linea iniziale della barriera, e classificare quindi nell'ambito delle due categorie prima impostate, delle barriere a com-

portamento a) elastico, b) semielastico, c) rigide.

La barriera elastica ha in genere una deformabilità tale da permettere il passaggio dell'asse longitudinale della barriera da parte del baricentro del veicolo.

Potendo appartenere alle due diverse categorie nel caso 6.1. essa assolve assai bene ai suoi compiti solo per grandi angoli di impatto. Nel caso 6.2 la discontinuità provocata dai paletti genera una somma di inconvenienti che ne pregiudicano sostanzialmente l'utilizzazione.

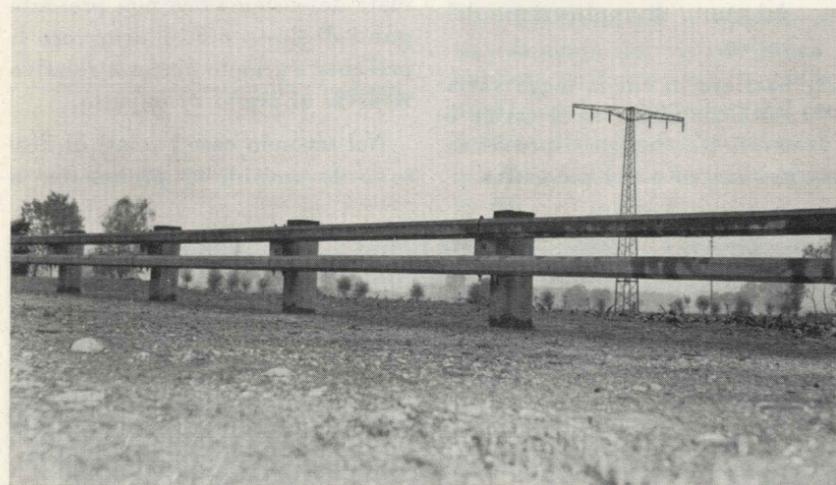


Fig. 9 - Barriera campione installata nel poligono di Trofarello (Torino).

Le principali barriere elastiche (californiana originale o modificata inglese) sono costituite da cavi di acciaio tesi fra speciali sostegni principali in acciaio su basamento di calcestruzzo, e secondari a bassa rigidità. Possono essere in questo tipo 6.1.a comprese le barriere « a rosario » che, con appoggio continuo, mobilitano una massa resistente diversa in rapporto alla massa urtante.

Alle barriere di media deformabilità appartengono fondamentalmente le barriere in acciaio a W e scatolare (box beam) con paletti in acciaio o legno, molto note per essere le classiche barriere di sicurezza ad uso pressoché universale. Esse hanno struttura, con resistenza a flessione e trazione, largamente sperimentata, il che ha permesso di trarre una importante conclusione, che qui ci interessa rilevare:

— la barriera di media deformabilità assolve nel miglior modo la sua funzione qualora si deformi con *continuità* possedendo una legge sforzi-deformazioni complessiva che possa considerarsi indipendente dal punto di applicazione del carico (classificazione 6.1.b).

Per ottenere questo è stato ritenuto necessario:

— non distanziare eccessivamente i piedritti; che gli stessi durante l'urto si mantengano in regime elastico; che il loro cedimento in rapporto al terreno di infissione sia in larga parte non reversibile; che il nastro li legghi con continuità onde interessarne il max numero nella fase d'urto frontale.

A tale tipo è necessario tendere secondo le opinioni più autorevoli soddisfacendo la prima delle condizioni fondamentali (6.1) e la seconda delle condizioni accessorie (pos. b), e ciò indipendentemente dal materiale cui è composta la barriera.

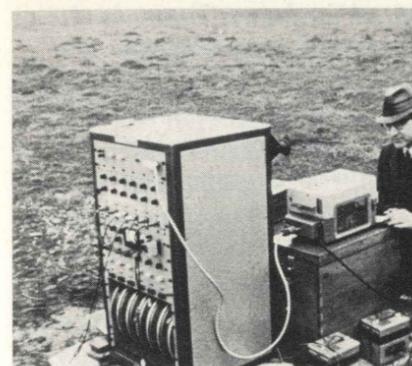


Fig. 10 - Apparecchiature di registrazione delle accelerazioni. Posto di misura.

7. Anche con le barriere in calcestruzzo sono realizzabili i principî di cui si è detto. È infatti inesatto classificare le barriere realiz-



Fig. 11 - Rottura tipica del nastro inferiore della barriera.

zate con siffatto materiale come barriere « rigide », dato che tutti gli aspetti funzionali e geometrici della legge sforzi-deformazioni (nel suo aspetto globale) possono essere perfettamente risolti con opportuni legami del paletto al terreno e del nastro (o dei nastri) al piedritto.

Si intende che la barriera in calcestruzzo di tipo semielastica a comportamento indipendente dal punto di applicazione del carico, dovrà avere caratteristiche geometriche periferiche assai simili a quelle delle barriere in acciaio, e ciò per avere fasi d'urto composte da due primarie frontali e una secondaria di striscio e coda (cioè con azione sulla carrozzeria), e non con azione di frenatura e

guida sulla ruota anteriore del veicolo. In tal caso infatti i risultati non sono confrontabili a parità di condizioni di impatto (1).

Tali barriere possono divenire di tipo rigido qualora il nastro non si deformi sufficientemente in fase d'urto primario e reagisca quindi all'urto stesso con rottura dell'avantreno del veicolo.

La barriera di tipo rigido è caratterizzata da una ridotta elasticità del complesso nastro-piedritti, elasticità data in genere da un incastro pressoché perfetto del piedritto all'altezza del piano viabile e da un nastro atto a reagire agli urti senza deformazioni elasto-plastiche irreversibili.

Tali caratteristiche specifiche tendono ad essere realizzate ove la struttura di appoggio non consenta per sua natura il cedimento anelastico terreno-piedritto (come ad esempio sui ponti) e ove l'interspazio fra due carreggiate di marcia contrapposte sia limitato allo spessore della stessa barriera e non permetta quindi una deformazione permanente di entità apprezzabile nell'opposta corsia.

Da tutto quanto sopra deriva come una barriera perfettamente

(1) Vedasi a tal proposito le prove tedesche sulla pista di Sindelfingen.

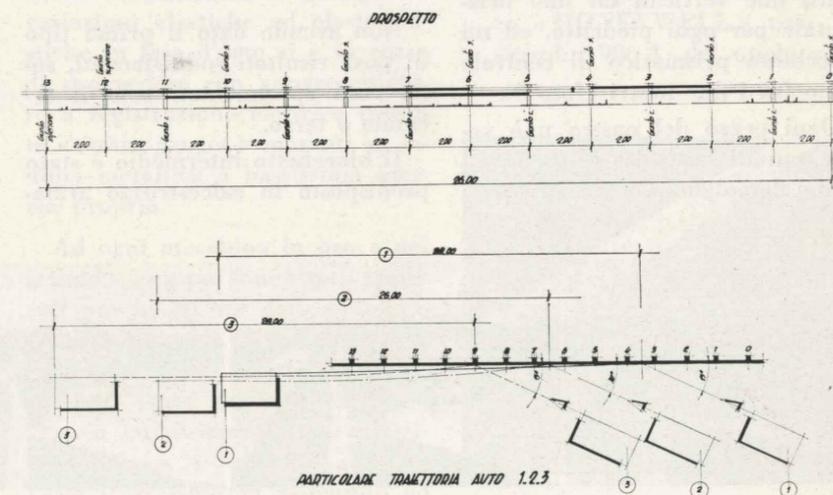


Fig. 12 - Prospetto delle prove 1-3.

funzionale, atta cioè a risolvere il problema fondamentale di evitare la fuoriuscita del veicolo dalla sua sede con il minimo danno totale alla vettura, agli occupanti della stessa e agli utenti della strada, può accogliere il veicolo senza restituirlo alla primitiva corsia (fig. 6) di corsa o restituirlo alla stessa gradualmente senza riflessioni improvvise (fig. 7).

La prima ipotesi, difficilmente realizzabile in modo completo, presuppone comunque un largo spazio a disposizione della manovra di progressivo insaccamento; la seconda limita tale spazio a poche decine di centimetri.

Il secondo tipo di barriera, che potremo chiamare « semiflessibile » se in acciaio o « semirigido » se in calcestruzzo, possiede tutti i requisiti per essere adoperato come barriera mediana su autostrade a stretto spartitraffico, o come barriera laterale su autostrade o strade ordinarie.

8. Su un tale tipo di barriera di sicurezza stradale, rispondente in linea teorica ai requisiti prima descritti sono state eseguite a cura dell'Istituto Strade del Politecnico di Torino una serie di prove su scala reale atte a mettere in luce il loro comportamento.

Le barriere sono di proprietà della Copra S.p.A. di Torino.

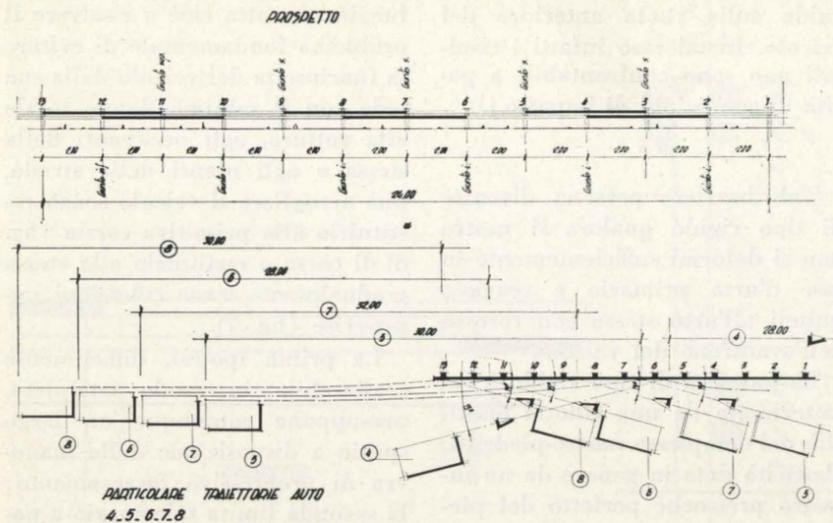


Fig. 13 - Prospetto delle prove 4-8.

8.1. Descrizione della barriera.

La barriera è formata da:

- paletti 16×16 o 20×16 cm della lunghezza complessiva di m 205, in calcestruzzo armato, posti all'interasse di 2 ml con una parte fuori terra di 65 cm.
- n. 2 nastri indipendenti formati da elementi singoli di 400 cm di lunghezza, con sezione 10×16 cm in cemento armato precompresso (a fili aderenti).

Le posizioni delle singole parti sono presentate nella figura 8.

Il collegamento fra le diverse parti col paletto già in opera avviene per mezzo di bulloni passanti, due verticali ed uno orizzontale per ogni piedritto, ed un blocchetto prismatico di centrale posto fra i due nastri (foto 9).

Ogni pezzo del nastro può venire quindi sostituito senza ricorrere a demolizione o ricostruzione

dei giunti, ma con semplici operazioni di montaggio meccanico.

Il peso di ogni singolo nastro e del paletto è di 160 kg circa, e ciò allo scopo di permettere anche il trasporto e il montaggio a mano.

Per le prove sono stati studiati diversi tipi di posa in opera del paletto:

- infissione con battipalo
- basamento di calcestruzzo sul fondo di uno scavo predisposto e successivo riempimento
- trivellazione preventiva di un foro Ø 30 cm, calo del paletto e riempimento dei vuoti con sabbia. La sabbia è stata trattata con sola acqua o con boiaccia di cemento.

Non avendo dato il primo tipo di posa risultati soddisfacenti, sono stati sperimentati solo il secondo e terzo.

Il blocchetto intermedio è stato predisposto in calcestruzzo arma-

to ed in legno. Entrambi i tipi sono stati sperimentati.

La barriera può presentare i nastri da un solo lato, o da entrambi i lati senza che cambi il sistema di attacco.

La calcolazione statica degli elementi è stata la seguente:

- paletto soggetto a flessione con una resistenza a rottura superiore ai 2500 o 2000 kg/m secondo le due direzioni principali della sezione;
- nastro isolato, precompresso con 11 treccie area 12 mm², con resistenza a flessione di 1,25 t m (carico concentrato di 2,5 t). La resistenza a trazione delle testate del nastro doppio montate in opera raggiungeva a fessurazione le 5 t circa. La resistenza a fessurazione per trazione era in mezzeria del nastro singolo di 12 t circa, la resistenza a rottura di circa 1,5 volte tale carico;

— il collegamento nastri-piedritto è stato creato prima in calcestruzzo armato e poi in legno. In entrambi i casi è stato sottoposto ad un carico di 2500 kg sia perpendicolarmente che parallelamente all'asse del nastro senza che si verificassero rotture nei pezzi.

8.2. Esecuzione delle prove.

Sono state eseguite delle prove d'urto in scala reale su tre tratti di barriera, aventi ciascuno una diversa caratteristica:

- 1) paletto con fondazione in calcestruzzo a ml 1,40 da terra. Blocchetti di collegamento in

calcestruzzo. Pavimentazione in naturale costipato;

- 2) paletto posto entro foro realizzato per trivellazione, riempimento con sabbia costipata ed acqua. Pavimentazione in conglomerato bituminoso;
- 3) paletto c.s. e riempimento a sabbia e boiaccia. Pavimentazione c.s.

Nella seguente tabella sono segnati i programmi di prova:

1° Gruppo

Programma di prova n°	Auto	Angolo d'impatto α	Velocità all'impatto Km/h
1	1100 - FIAT	25°	50
2	»	30°	55
3	»	30°	60
4	»	30°	65
5	1400 - FIAT	25°	60
6	»	30°	60
7	»	30°	65

2° Gruppo

Programma di prova n°	Auto	Angolo d'impatto α	Velocità all'impatto Km/h
1	1400 - FIAT	20°	60
2	»	25°	60
3	»	30°	60
4	1400 - FIAT	15°	60
5	»	15°	65
6	1100 - FIAT	15°	70
7	»	15°	75

Si noti come nel primo gruppo di prove e nella prima parte del secondo vi sia una certa progressione dell'angolo di impatto mentre nell'ultima parte delle prove si sia previsto di aumentare gradatamente la velocità ed angolo di impatto costante.

Tutto ciò era stato predisposto in rapporto al fatto che i veicoli erano guidati direttamente da pilota e che di conseguenza era necessario saggiarne gradualmente le reazioni sia emotive che traumatiche. Da tale punto di vista il programma ha avuto esito asso-

lutamente positivo, dato il perfetto adeguamento del pilota ad angoli e velocità singolarmente crescenti.

Apparecchiature di misura

Le apparecchiature impiegate nelle prove, con esclusione di quelle preliminari aventi carattere orientativo, sono state di tipo flessimetrico per lo studio della

si le componenti dell'accelerazione secondo due assi ortogonali.

La strumentazione usata era costituita da:

- a) due trasduttori accelerometri piezoelettrici « BRUEL & KJAJER » tipo 4328, aventi risposta lineare da 3 a 6000 Hz e sensibilità pari a 55 mV/G;
- b) due preamplificatori « Boano » di Torino;

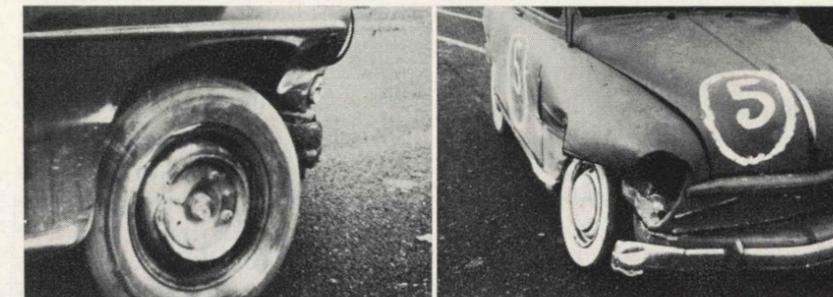


Fig. 15 - (1-2) Danni tipici alle autovetture.

legge sforzi-deformazioni della barriera, e dei trasduttori accelerometrici per la misura delle variazioni di velocità sulla vettura urtante.

Le attrezzature flessimetriche, a registrazione meccanica, non si sono mostrate sempre di valido aiuto nel campo delle misurazioni richieste.

Ad esse va il merito comunque di una esatta valutazione delle deformazioni residue, mentre per le variazioni elastiche ed elasto-plastiche in fase d'urto si è in corso di provvedere con apparecchiature a registrazione elettrica tramite « strain gages » montati su lamina metallica a bassissima inerzia propria.

Ad ogni macchina in prova nel secondo gruppo sono stati applicati per la misura delle accelerazioni istantanee, due trasduttori accelerometrici, diretti il primo secondo l'asse longitudinale del veicolo ed assicurato allo chassis dello stesso, il secondo secondo l'asse trasversale ed assicurato ad un montante. Si sono rilevate co-

c) due cavetti coassiali da m 100 caduno atti al collegamento fra dette apparecchiature installate a bordo del veicolo e le rimanenti fisse a terra (v. figura 10);

d) due amplificatori « Boano » necessari per la conversione del debole segnale elettrico in ingresso in un segnale atto a pilotare i galvanometri dello strumento registratore;

e) un oscillografo elettromagnetico « HONEYWELL » tipo Visicorder 906 A, del quale veni-

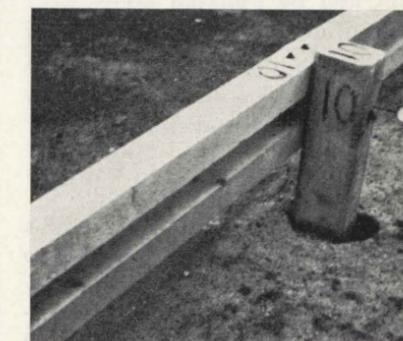


Fig. 16 - Spostamento del ritto nel foro trivellato.

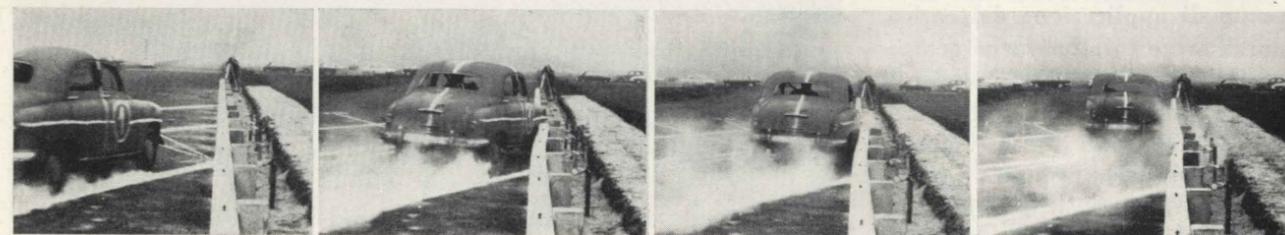


Fig. 14 - 1-2-3-4. Svolgimento di una prova d'urto con macchina 1400 Fiat nel poligono di Settimo Torinese.

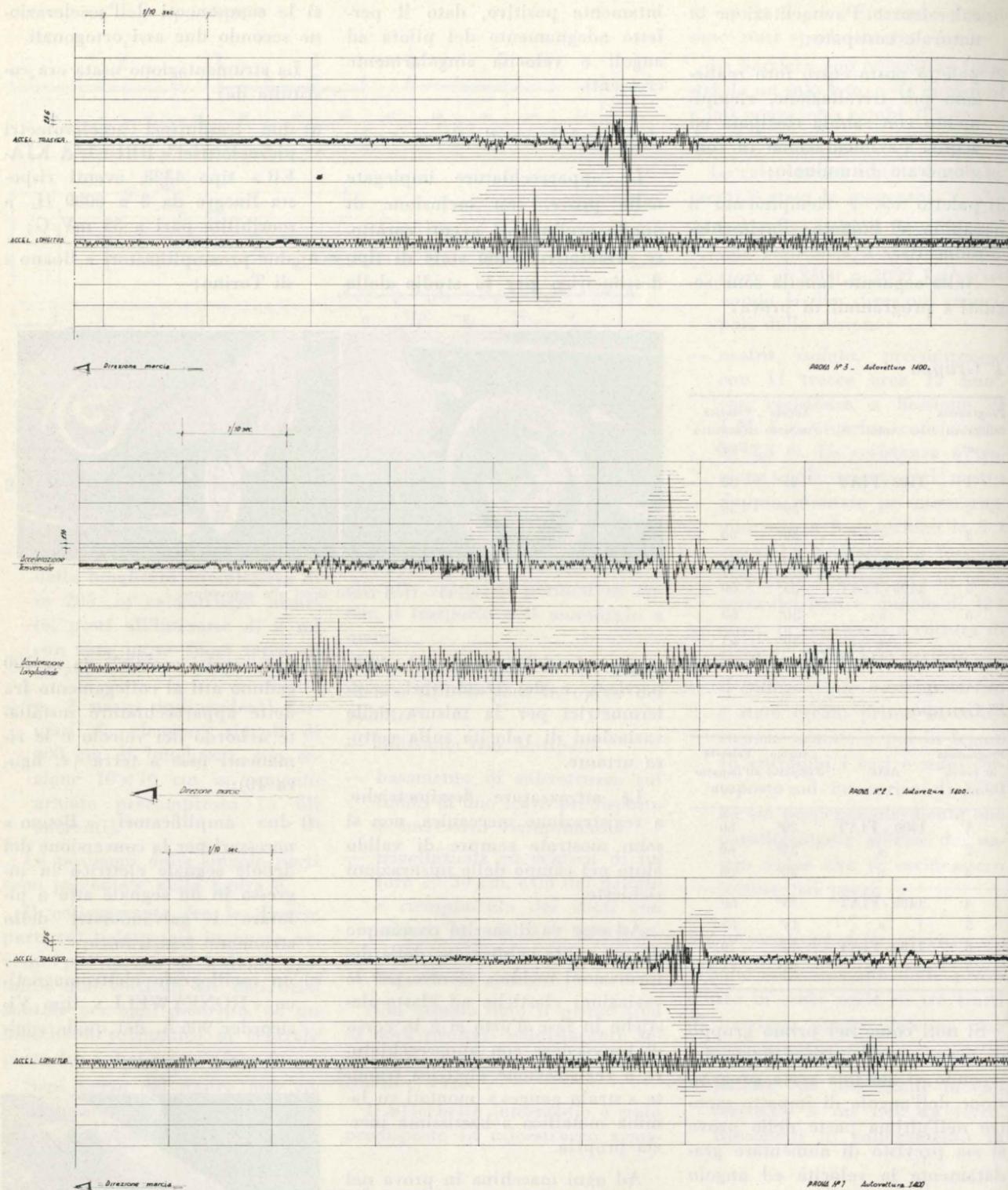


Fig. 17 - Diagrammi tempi-accelerazioni.

vano utilizzati due galvanometri con risposta lineare fino a 2000 Hz.

La grandezza meccanica accelerazione, pertanto, convertita in segnale elettrico dal trasduttore, veniva trasmessa alle apparecchiature

fisse mediante cavo e qui dopo amplificazione registrata su carta sensibile.

Sulla carta è anche tracciata una quadrettatura onde poter leggere agevolmente le ordinate, ac-

celerazioni e le ascisse, tempi del segnale registrato. Con la taratura usata risultano:

- una unità in ordinata = 2,3 G
- una unità in ascissa = $\frac{1}{10}$ sec.

intendendo per unità la distanza fra una linea e la successiva.

Il segnale registrato rappresenta la somma delle decelerazioni dovuta all'urto più le accelerazioni dovute alle vibrazioni del veicolo.

La parte predominante spetta a queste ultime come è facile notare, avendo la derivata seconda di una grandezza sinusoidale A sen ωt ampiezza pari ad $\omega^2 A$.

Oscillazioni pertanto di piccola ampiezza ma con frequenza elevata danno luogo ad ampiezza di accelerazioni notevoli.

Si è cercato pertanto di depurare il segnale da questi addendi per prendere in esame solo le componenti a frequenza bassa.

Di queste ultime poi è opportuno ricordare che l'uomo è sensibile soprattutto fino a frequenze pari a circa 4 Hz e pertanto sente solo il valore medio di un segnale contenente frequenze maggiori.

Analisi dei risultati

Nelle prove orientative (1° Gruppo) gli angoli di impatto realizzati con le auto 1100/E (peso 800 Kg) hanno avuto un minimo di 23° ed un max di 30°. Le velocità sono rimaste comprese fra i 50 ed i 65 km/h. Si sono così realizzate le condizioni previste dal programma.

Con le auto 1400 (peso 1200 kg) la velocità massima realizzata è stata inferiore al previsto (60 km/h in luogo di 65).

In ogni caso in tutte le prove d'urto di tale primo gruppo si sono avuti i seguenti risultati comuni:

- danno agli occupanti (muniti di cintura di sicurezza): nessuno. A tal proposito il pilota ha dichiarato di non aver risentito di nessun disturbo in fase d'urto primaria e di essere stato accompagnato con assoluta continuità e morbidezza nelle fasi successive sino all'arresto;

- danno alle vetture: carrozzeria inflessa sui parafranghi, abitacolo integro, porte con apertura normale, nessuna rottura all'avantreno (le vetture, dopo rialzamento del parafrango hanno potuto trasferirsi da sole);

- riflessione: compresa fra lo strisciamento del veicolo lungo tutta la barriera (veicoli tipo 1400) ed un angolo di 5-10° circa (vetture 1100).

Differenze sostanziali si sono avute nel comportamento della barriera sotto gli urti con macchine da 800 o 1200 kg.

Nel primo caso infatti la barriera è rimasta indenne in ogni sua parte, con deformazioni residue dei paletti comprese fra i 2 ed i 4 cm. (il paletto era ancorato con calcestruzzo in fondazione), e deformazioni residue dei nastri pressoché nulla, mentre nel secondo caso, pur con deformazioni residue dei paletti dello stesso ordine di grandezza si è sempre

di 2500 kg sui nastri, mentre l'auto da 1200 kg da un angolo di impatto di 20° in avanti ha fornito un primo urto superiore ai 2500 kg (rottura del nastro inferiore a contatto con il mozzo) senza però superare la resistenza staticamente equivalente ad ulteriori 2500 kg del 2° nastro.

Le successive prove dimostrano come questi siano effettivamente valori limiti, non essendosi verificata rottura del nastro inferiore con 15° d'angolo d'impatto.

La forza longitudinale ($\mu F + F_r$) risulta in ogni caso all'incirca pari alle 4 t, essendosi mostrato un inizio di alterazione del legamento longitudinale dei nastri sotto l'azione delle macchine più leggere ed una cospicua deformazione sotto l'urto delle seconde macchine.

Comunque dall'esame dei rilevamenti cinematografici risulta applicabile l'ipotesi di una resi-

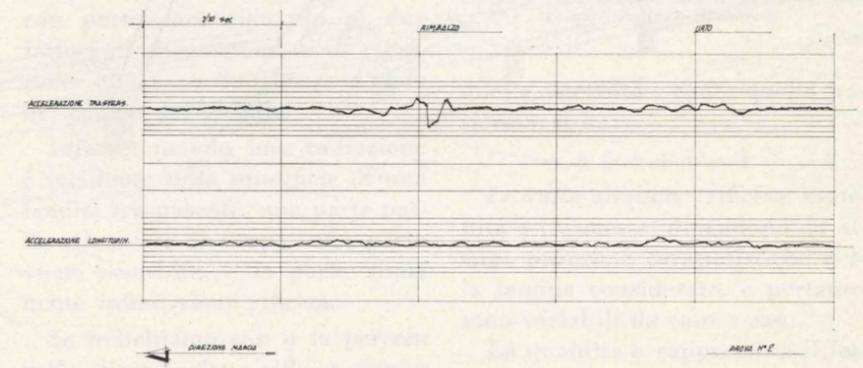


Fig. 18 - Diagramma delle basse frequenze (prova 2).

avuto, per ogni coppia di valori velocità-angolo d'impatto la rottura del nastro inferiore (foto n. 11) e una deformazione macroscopica delle staffe di testa per l'ancoraggio longitudinale fra i nastri successivi.

Se ne può dedurre come nell'ambito delle velocità ed angoli di impatto esaminati l'auto da 800 kg non è mai riuscita a produrre sulle barriere uno sforzo flessionale equivalente a quello generato da un carico concentrato

avuto, per ogni coppia di valori velocità-angolo d'impatto la rottura del nastro inferiore (foto n. 11) e una deformazione macroscopica delle staffe di testa per l'ancoraggio longitudinale fra i nastri successivi.

Nel secondo gruppo di prove si provvide ad effettuare la posa dei paletti dopo trivellazione del terreno e rinalzo con sabbia ed acqua o sabbia e boiaccia di cemento. Scopo della modifica: aumentare la parte anelastica della de-

formazione del paletto nelle varie fasi d'urto.

Le prove previste vennero regolarmente svolte. Nelle figure 12 e 13 sono riportate le traiettorie dei veicoli prima e dopo l'urto contro le barriere.

I risultati sono assai interessanti. Essi confermano come l'urto si svolga sempre secondo le fasi prima studiate con danno agli autoveicoli e agli occupanti sempre assai ridotti (in nessun caso si è avuta rottura dell'avantreno)

impatto di 15° e velocità sempre crescenti sino a circa 75 km/h le barriere non subivano la rottura dei nastri sia che il veicolo urtante avesse peso di 800 che di 1200 kg.

I trasduttori accelerometrici accertavano delle accelerazioni complessive riportate nella figura 17. Come prima detto esse risultano pari alla somma delle decelerazioni dovute all'urto e delle accelerazioni dovute alle vibrazioni delle parti del veicolo ai

rico venne valutata in circa 6 cm e quella permanente in 5 cm circa. L'urto interessava circa 4 paletti per parte rispetto al punto d'impatto (circa 14 ml di barriera).

La stesura dei diagrammi sforzi-deformazioni dell'intero complesso è in elaborazione.

* * *

Assieme alla barriera di cui si è detto, nel tipo semplice è stato sperimentato un sistema contro l'abbagliamento su autostrada. Per tali esperienze, a carattere ottico, è stata adottata una barriera Copra di tipo doppio.

La schermatura antiabblagliante è costituita da canto suo da una serie di palette a superfici non riflettenti (in alluminio anodizzato o materia plastica) delle dimensioni singole di (18 x 120 cm) disposte a riposo in posizione orizzontale, fra i due nastri inferiori al centro della barriera. Esse sono collegate in basso ad un sistema meccanico comandato ad

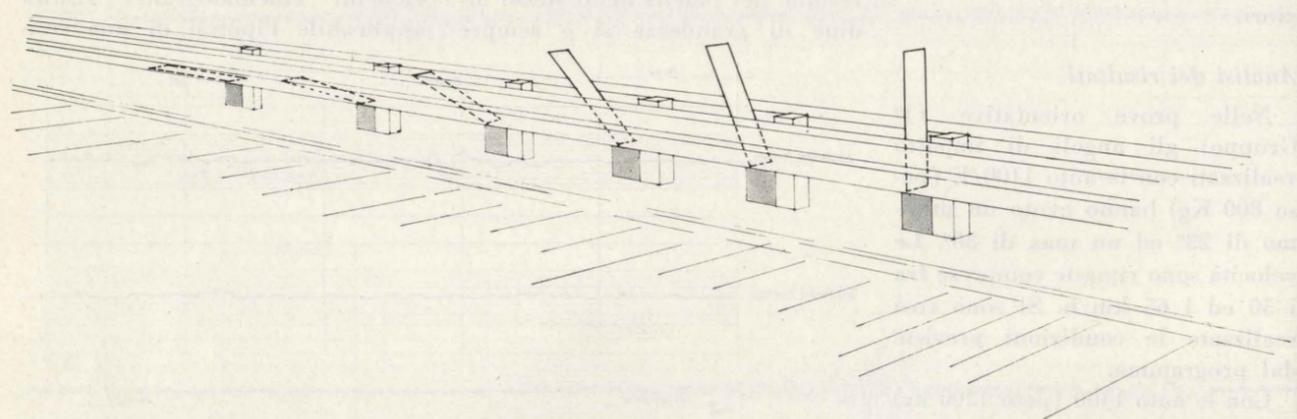
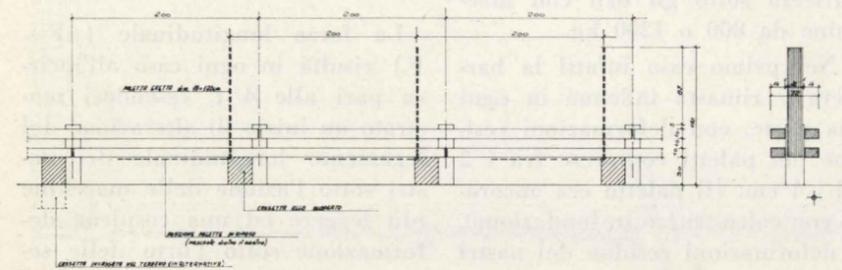


Fig. 19-20 - Schemi antiabblaglianti posti all'interno delle barriere.

(figg. 14-15). Gli angoli di riflessione sono sempre compresi fra zero e pochi gradi, rivelando fra l'altro l'importanza del foro trivellato per i paletti (fig. 16).

L'ordine di grandezza delle forze in gioco è rimasto quello già ipotizzato nell'analisi delle prime prove, confermando fra l'altro come sia sufficiente una resistenza di circa 5 t per il giunto dei nastri.

Infine l'ultimo gruppo di prove ha mostrato come con angoli di

quali i trasduttori erano applicati.

Nella fig. 18 è riportato il segnale elettrico depurato dalle componenti ad alta frequenza per la prova n. 2.

Si nota come la decelerazione del veicolo dovuta all'urto è dell'ordine di circa 3 g.

Le deformazioni delle barriere risultavano continue ed indipendenti dal punto di applicazione del carico.

La deformazione max sotto ca-

aria compressa (sistema Westinghouse), ed hanno quindi la possibilità di portarsi in posizione verticale qualora vengano azionati appositi comandi (figg. 19-20).

Le palette erette, poste alla distanza di circa due metri, formano una siepe pressoché continua se traggiate con un angolo di impatto di 10+15°, e quindi possono servire egregiamente per evitare il macroscopico abbagliamento di macchine incrociatesi.

Cesare Castiglia

La dinamica del paesaggio architettonico funzione delle proprietà riflettenti di lamine trasparenti

GIACOMO DONATO pone in evidenza possibilità d'analisi sperimentale e di meditazione a proposito di radiazioni incidenti su lastre vetrate che riflettono il paesaggio in cui s'inserisce l'architettura di cui fanno parte sfruttandone come valore compositivo la mutevolezza nel tempo.

L'applicazione su vasta scala di lamine trasparenti negli edifici ha condotto ad una nuova fisionomia dell'edilizia che viene detta appunto architettura del vetro (figg. 1-2); la proprietà infatti del materiale vitreo di poter offrire immagini speculari e di riproporre sulle sue superfici la scena dinamica di ogni giorno che vi compare con i suoi colori cangianti, ha portato come logica conseguenza a fare sentire di più l'ambiente urbano delle città vecchie e nuove, l'ambiente extraurbano con l'accentuazione della presenza del verde inserito in qualsiasi scenario naturale, e quello che è più importante ha condotto ad una intima fusione tra l'oggetto edilizio e l'ambiente stesso in cui detto oggetto viene accolto. Si può

do non esiste un concomitante ambiente da esprimere.

Il vetro viene impiegato sempre più frequentemente in architettura, come dimostrano i moltissimi casi in cui esso è il materiale preponderante nella composizione delle pareti esterne degli edifici (fig. 3).

Sappiamo che la presenza di un corpo trasparente sul cammino di una radiazione ne altera i caratteri, talvolta anche profondamente; l'alterazione introdotta può riguardare l'intensità, la distribuzione nello spazio e la ripartizione spettrale della radiazione stessa.

Per una accurata indagine sull'argomento in esame è quindi necessario considerare le caratteristiche dei vari materiali trasparenti, con particolare riguardo ai due fattori di *trasmissione* e di *riflessione* alle varie lunghezze d'onda nel campo del visibile.

Infatti, quando una radiazione è incidente sulla superficie di una lamina trasparente, una parte passa attraverso il corpo, una parte viene assorbita, e la parte rimanente infine viene riflessa.

Se indichiamo con ρ la percentuale di radiazione riflessa, con α

NOTA. — Altrove ho riferito su indagini circa il problema dell'illuminazione naturale degli ambienti interni, esaminando il caso di differenti colori delle pareti e del pavimento, mantenendo inalterate le dimensioni della finestratura e la porzione di radiazione visibile che attraverso di essa veniva immessa nell'ambiente. (G. DONATO, *Atti e Rassegna Tecnica*, Febbraio 1965).

Poiché l'illuminamento dipende direttamente anche dalla quantità e qualità della radiazione che entra nell'interno, è opportuno esaminare ancora il problema dell'illuminazione naturale, con riferimento però alle caratteristiche dei vetri normalmente usati per le finestrature, oggi disponibili in una vasta gamma di spessori e colori.

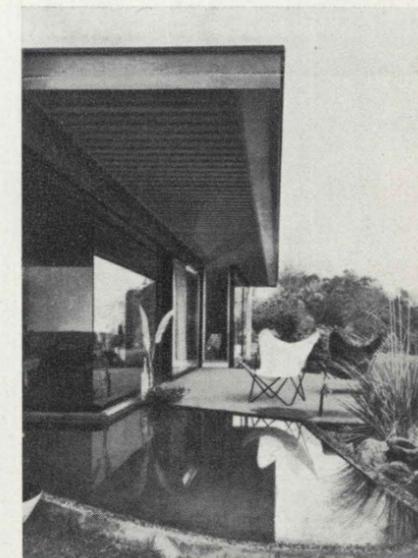


Fig. 2 - Richard Neutra, *Life and human habitat*, Verlagsanstalt Alexander Koch GMBH, Stuttgart. - Casa G.O.M., San Bernardino (California). Vista della vetrata d'angolo del soggiorno (effetti di riflessione).

quella assorbita e con τ quella trasmessa, si ha:

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

Le varie aliquote (riflessa, assorbita e trasmessa) dipendono da alcune proprietà caratteristiche della lamina considerata, e pertanto sono variabili da caso a caso.

La quantità ρ rappresenta il *fattore di riflessione*, la quantità α il *fattore di trasmissione lordo*, e la quantità $(1-\alpha)$ il *fattore di trasmissione netto* di una data sostanza ⁽¹⁾.

La parte di radiazione che passa attraverso il materiale trasparente va ad illuminare l'ambiente interno, mentre quella riflessa (quando la riflessione è regolare) va a determinare il gioco di luci, di ombre e di immagini che si notano osservando di giorno una superficie vetrata esterna.

⁽¹⁾ E. PERUCCA, *Nomenclatura nella illuminazione* - « Rendiconti AEI », 1924, memoria n. 125.



Fig. 1 - Richard Neutra, *Life and human habitat*, Verlagsanstalt Alexander Koch GMBH, Stuttgart. - Casa P.R.E. in Bayport (New York).

dire che a volte il vetro ha fatto incontrare all'architetto risultati insperati, e che il vetro si annulla come valore architettonico quan-

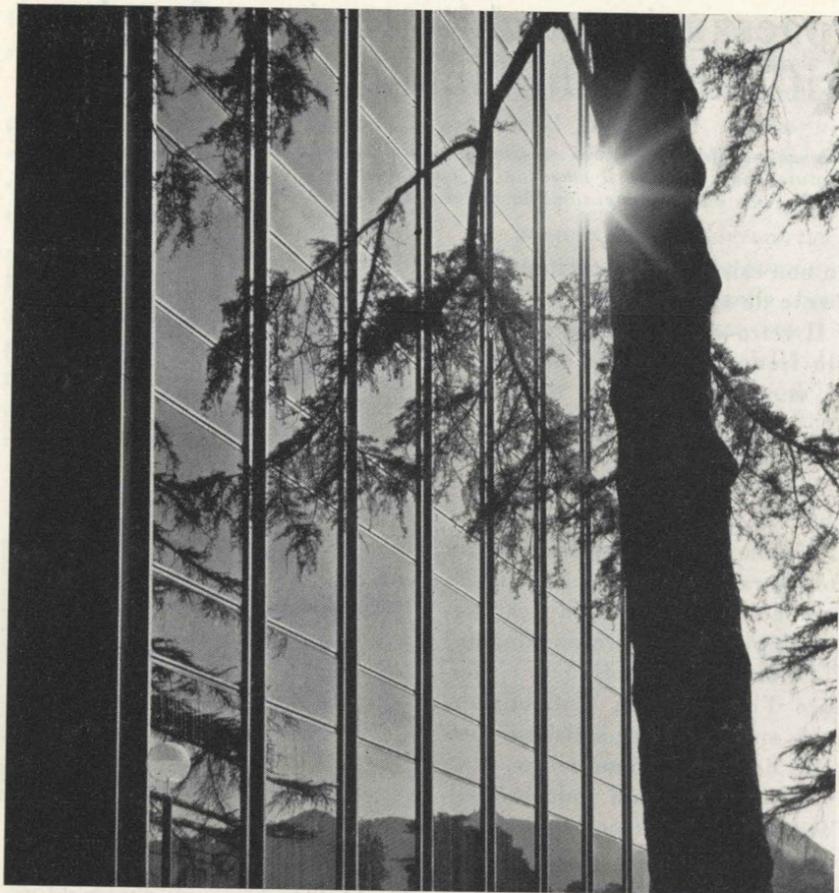


Fig. 3 - MCA Tower, Universal City, Calif.; Architect-Engineer: Skidmore, Owings & Merrill, San Francisco.

A quest'ultimo effetto si ricollegano le considerazioni sulla configurazione e conformazione dell'ambiente circostante l'edificio che va a riflettersi sulla superficie vetrata facente parte dell'edificio stesso, ed è fondamentale in quanto l'ambiente in cui l'architettura si manifesta attraverso i suoi molteplici episodi, aderisce intimamente alle forme geometriche degli edifici quasi impregnandole dei suoi cangianti effetti luminosi comunicando loro vita e vigore espressivo.

Per rendere più espliciti i concetti accennati basti riferirsi a due noti diagrammi [fig. 4a e 4b] ⁽²⁾. Il primo rappresenta la ripartizione spettrale del fattore di trasmissione di vetri colorati alle varie

⁽²⁾ A. C. HARDY e F. H. PERRIN, *The Principles of optics* - Mc. Graw-Hill Book Company, New York e Londra, 1932, pagg. 22-28, 160-167.

lunghezze d'onda, mentre l'altro rappresenta il fattore di riflessione di alcuni materiali, per la sola incidenza normale. Conoscendo lo spettro della radiazione incidente sulla superficie di un corpo trasparente, vale a dire la distribuzione spettrale dell'energia radiante che

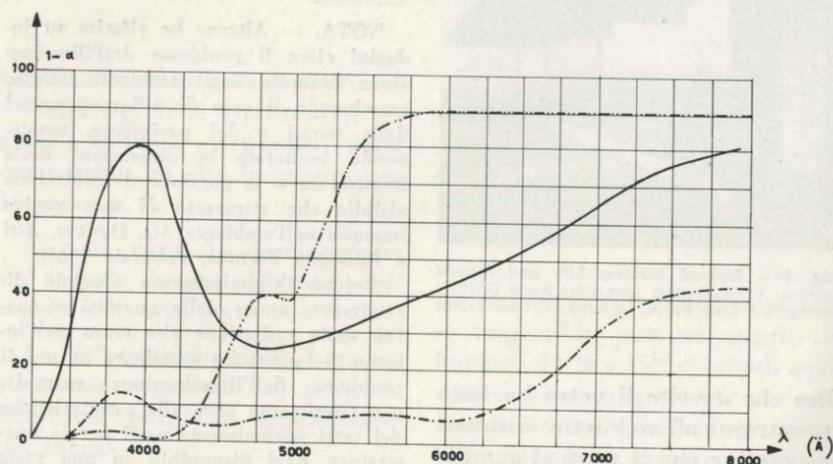


Fig. 4-a) - Fattore di trasmissione (1-α) di vetri colorati.

investe una superficie vetrata (sia ad esempio quella solare diretta di fig. 5), sarebbe possibile stabilire quanto e quale parte della radiazione naturale penetra nell'ambiente (fig. 7), dove subirà il gioco degli assorbimenti e delle riflessioni sulle pareti e sul soffitto, e quanta e quale parte di essa si diffonde all'esterno sotto forma di luce e di immagini riflesse.

S'intende che, interessando questi giochi di luce e immagini la visione mediante l'occhio umano, la quantità complessiva della radiazione dovrà essere valutata in unità fotometriche, in particolare in lux quando interessi la conoscenza del valore dell'illuminamento.

È noto che l'effetto riflettente è presente anche quando il raggio incidente ha una direzione normale alla superficie di separazione di due mezzi trasparenti, e la lastra di vetro è costituita da materiale limpidissimo; è noto inoltre che l'aliquota di radiazione riflessa varia con l'angolo di incidenza e col suo stato di polarizzazione.

Se nell'intervallo del visibile il fattore di riflessione di una lastra è indipendente dalla lunghezza di onda (corpo non selettivo), e il raggio incidente contiene tutte le radiazioni visibili con intensità quasi uniforme (e cioè a spettro continuo), ad un osservatore esso appare bianco, grigio o nero a seconda del valore di ρ.

Se invece il corpo è selettivo, esso appare colorato (fig. 1-b).

Quando interessa la sola valutazione della percentuale di radiazione che passa, oppure la percentuale che non passa, per qualunque causa ciò avvenga, è allora sufficiente definire il fattore τ come il rapporto tra i flussi emer-

questo modo quale sia la tonalità del loro colore, né quale siano le possibilità di impiego delle lastre trasparenti, possibilità che in larga misura sono dipendenti, come abbiamo visto, anche dalla natura della loro superficie e dal relativo fattore di riflessione.

Sperimentalmente la misura del

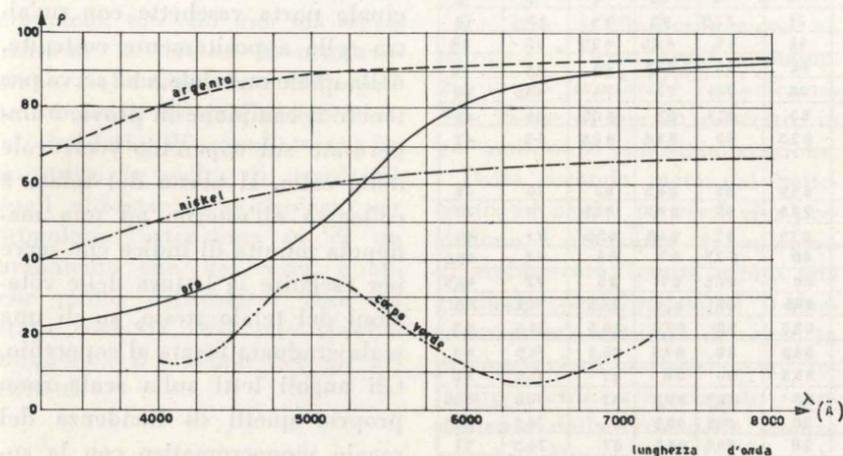


Fig. 4-b) Fattore di riflessione ρ di alcuni materiali.

gente e incidente. Normalmente il τ viene espresso come una percentuale, ciò che equivale a dare la misura del flusso emergente quando quello incidente è uguale a 100.

Spesso le caratteristiche di trasparenza dei materiali vengono precisate mediante un unico numero, che dovrebbe rappresentare il fattore di trasmissione medio in un ampio intervallo spettrale.

Come è ovvio, e come si può dedurre dall'esame dei diagrammi di fig. 4-a, non è agevole conoscere in

rapporto dei flussi potrebbe venire eseguita con lo spettrofotometro, e consiste nell'inviare su di una cellula fotoelettrica una radiazione monocromatica, dapprima direttamente e poi inserendo sul cammino del raggio un campione della lamina trasparente.

Il rapporto delle letture eseguite in queste condizioni ci fornirebbe il valore cercato. Essendo generalmente il fattore τ dipendente dalla lunghezza d'onda, sarebbe necessario eseguire la coppia di letture per un discreto numero di radiazioni monocromatiche di diversa frequenza.

La misura del fattore di trasmissione di un materiale può poi essere resa più completa considerando anche i casi di incidenza diverse dalla normale alla superficie del corpo trasparente. Ciò è importante in quanto l'ortogonalità fra raggio e superficie si verifica solo per brevi istanti durante la giornata, e comunque solamente per una minima parte per quanto concerne la radiazione diffusa del cielo; per tutto il tempo rimanente (e per la maggior parte

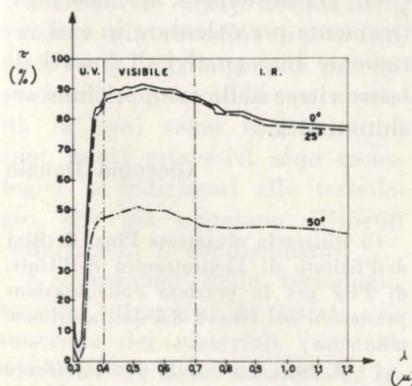


Fig. 6 - Spettri del fattore di trasmissione τ ai vari angoli di incidenza (0°, 25° e 50°) fra raggio e superficie del provino di vetro. τ = Rapporto fra flusso emergente e flusso incidente, in percento.

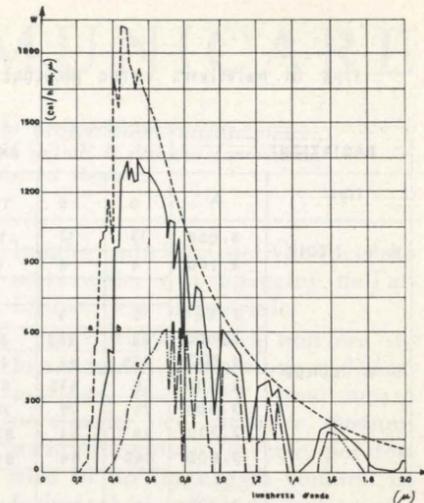


Fig. 5 - Ripartizione spettrale del flusso W della radiazione solare diretta, misurata su una superficie normale ai raggi: a) al limite esterno dell'atmosfera; b) al livello del mare, con atmosfera limpida e sole allo zenith (angolo di altezza β = 90°); c) al livello del mare, con atmosfera limpida e sole ad un'altezza β = 11,5°.

della radiazione diffusa rimanente) si avranno angoli di incidenza variabili, ed al variare di essi mutano sensibilmente gli effetti riflettenti esterni.

Il problema connesso con l'uso architettonico dei vetri deve essere trattato dunque non solo nei riguardi delle conseguenze, sia pure di carattere generale, circa l'illuminazione degli ambienti interni, ma anche, e talora soprattutto, delle conseguenze dipendenti anche dagli effetti esterni di rifles-

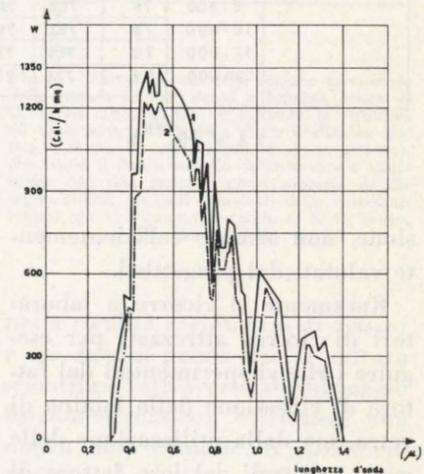


Fig. 7 - Attenuazione della radiazione naturale attraverso una lamina trasparente. La curva 1) rappresenta la ripartizione spettrale della radiazione solare diretta su un piano orizzontale, al livello del mare (curva b di fig. 2). La curva 2) rappresenta la ripartizione spettrale della stessa radiazione valutata sempre in senso perpendicolare, dopo che ha attraversato normalmente il vetro incolore da 3 mm delle caratteristiche indicate nella tabella 1 (colonna 0°).

Tipo di materiale: VETRO INCOLORE mm 3

RADIAZIONI		ANGOLO DI INCIDENZA									
Tipo	Å	0	5	15	25	30	35	40	45	50	
U. V. MEDIO	3.000	13	13	13	13	13	13	12	8	5	
	3.100	4	4	4	4	4	4	3	2	1	
U. V. LUNGO	3.200	5	5	5	5	5	4,5	4	3	2	
	3.300	23	22,5	22	21	20,5	20	19	17	12	
	3.400	47,5	47	46,5	46	45	44,5	43,5	36	25	
	3.500	68	67,5	67	66	65	64,5	64	54	36	
	3.600	79	79	78,5	78	77,5	77	75	63,5	42	
	3.700	84	84	83,5	83	82,5	82	80,5	68	46	
	3.800	84,5	84	84	83,5	83	82,5	80,5	69	47	
	3.900	87	86,5	86	85,5	85	84,5	83	70	48	
VISIBILE	4.000	89	88,5	88	87,5	87	86,5	85,5	71	48	
	4.100	89	88,5	88	87,5	87	86,5	85,5	71	48	
	4.200	89,5	89	89	88	87,5	87	86	72	48,5	
	4.300	89,5	89	89	88	87,5	87	86	72	48,5	
	4.400	90	89,5	89	88,5	88	87,5	86,5	74,5	49	
	4.500	90	89,5	89	88,5	88	87,5	86,5	74,5	49	
	4.600	90	89,5	89	88,5	88	87,5	86,5	74,5	49	
	4.700	90,5	90	90	89,5	89	88	87	76,5	50	
	4.800	91	90,5	90,5	90	89,5	88,5	87	74,5	50,5	
	4.900	91	90,5	90,5	90	89,5	88,5	87	74,5	50,5	
	5.000	91	90,5	90,5	90	89,5	88,5	87	74,5	51	
	5.200	92	91,5	91	90,5	90	89	87	74,5	51,5	
	5.400	91,5	91	90,5	90	89,5	88,5	86	73	51	
	5.600	91	91	90,5	90	89,5	88	86	73	51	
	5.800	91	91	90,5	90	89,5	88	86	73	51	
	6.000	90	90	89,5	89	88,5	87	85	72	50	
6.250	90	90	89,5	89	88,5	87	85	72	50		
6.500	88	88	88	87	87	86	84	70	48		
6.750	88	88	88	87	87	86	84	70	48		
7.000	87	87	87	86	86	85	83	69	46		
7.500	85	84,5	84	84	83,5	83	80	67	45		
7.600	85	84,5	84	84	83,5	83	80	67	45		
I. R. CORTO	7.700	84	83,5	83	83	82,5	82	79	66	44	
	8.000	83	82,5	82	82	81,5	81	78	65	44	
	8.500	81	80,5	80	80	80	79	76	64	44	
	9.000	80	79,5	79	79	79	78	75	63	44	
	9.500	79	78,5	78	78	78	77	74	62	44	
	10.000	79	78,5	78	78	78	77	73	61	44	
	11.000	78	77,5	77	77	77	76	72	61	43	
	12.000	78	77,5	77	77	77	76	72	61	43	

1 Å = 10⁻¹⁰ m

sione, non sempre sufficientemente valutati dai progettisti.

Raramente si ricorre a laboratori di ricerca attrezzati per eseguire i rilievi sperimentali del fattore di riflessione delle lamine di vetro, ma dalla utilizzazione delle curve spettrali del loro fattore di trasmissione corrispondenti ai vari angoli di incidenza, è tuttavia possibile con strumenti anche poco costosi e con dispositivi semplici per formarsi un'idea abbastanza

orientativa anche delle loro proprietà riflettenti.

Si può pensare infatti, con buona approssimazione, che la parte di radiazione assorbita rimanga pressoché costante con l'inclinazione del raggio, cosicché quella mancante è dovuta ad un aumento della porzione di radiazione riflessa, via via che aumenta l'angolo di incidenza.

A titolo esemplificativo si sono riportati nella Tabella 1 i valori

rilevati sperimentalmente su un campione di 2 cm di lato di vetro comune da finestra, che hanno servito per il tracciamento dei diagrammi di fig. 6⁽³⁾.

Per la pratica esecuzione delle misure è stato adoperato uno spettrofotometro Beckman mod. DU, in cui è stata sostituita la cella originale porta vaschette con un'altra cella appositamente costruita, nella quale un telaio, che serve per tenere il campione in prova, è imperniato sul coperchio scorrevole della cella. Il perno del telaio è collegato all'esterno ad una manopola munita di indice che serve per eseguire la lettura delle rotazioni del telaio stesso, su di una scala graduata fissata al coperchio. Gli angoli letti sulla scala sono proprio quelli di incidenza del raggio monocromatico con la superficie del campione.

Le misure sperimentali sono state limitate fino ad un angolo di 50°, ma i risultati ottenuti sono sufficienti per una valutazione significativa delle caratteristiche del campione esaminato⁽⁴⁾.

Tali misure, rilievo del fattore di trasmissione per incidenza normale e obliqua, potrebbero completare sotto tali aspetti i dati informativi riassunti nelle *carte di idoneità*, relative ai materiali trasparenti il cui impiego va oggi diffondendosi in Europa, comunque, come già anticipato, servono positivamente per orientare in casi veramente impegnativi di inserti di lastre vitree nella composizione architettonica.

Giacomo Donato

⁽³⁾ Ringrazio vivamente l'ing. R. Bini dell'Istituto di Elettrotecnica dell'Univ. di Pisa per la preziosa collaborazione prestatami nel rilievo dei dati sperimentali.

⁽⁴⁾ R. BINI, *La misura e il significato del fattore di trasmissione per incidenza normale e obliqua dei materiali trasparenti impiegati in agricoltura* - «Materie Plastiche ed Elastomeri», 1965, anno XXXI, n. 4, pag. 379-389.

DISEGNARE PER COMUNICARE

ROBERTO GABETTI, si limita a considerare il disegno nell'ambito della progettazione architettonica, o più generalmente, dell'operosità degli architetti moderni: non considera quindi il disegno come strumento di indagine storico-critica, od in rapporto all'«industrial design».

Ogni problema può essere visto sotto un particolare angolo visuale: che deforma il quadro completo, ma che può anche facilitarne la lettura, la comprensione. Nella trattazione della parte storica e di quella operativa, al desiderio di completezza, ho sostituito la scelta di angoli visuali abbastanza particolari, per stimolare l'attenzione su di un argomento che, del resto, è anche molto particolare: cosa sia stato, cosa sarà (probabilmente), il disegno per gli architetti.

1) PREMESSE STORICHE

L'architetto non fa le sue opere, con le proprie mani: questa situazione stessa lo distingue dagli altri «artisti», pittori o scultori che siano.

L'architetto immagina le sue opere, e ne preordina l'esecuzione, in una serie di rapporti che ha inizio con la stesura dei primi disegni e che si attua mediante nuovi disegni e mediante colloqui (controlli, spiegazioni) nel corso di una realizzazione, che è affidata invece ad altri.

L'architetto del *proemio* vitruviano è già coordinatore di tecnici, senza raggiungere le più approfondite e specializzate nozioni, in ogni ramo costruttivo: i suoi mezzi espressivi sono tecnologici, o indirizzati alle tecnologie, che già appaiono elementi condizionati o condizionanti.

L'affinamento delle tecnologie, seguito attraverso la stretta conoscenza dei materiali (naturali o artificiali), delle tecniche di lavorazione e di trasformazione, dei modi di accoppiamento, si può volgere alla esaltazione di astratte formulazioni geometriche (il

tempio greco) e delle possibilità e delle leggi insite nelle stesse tecnologie (la cattedrale gotica).

Lo stile è l'individuazione tipologica di lenti gradi di affinamento: lo *standard* è l'attuale modificazione di questo concetto, in un ambito di industrializzazione.

Dalla seconda metà del Settecento ad oggi i processi che presiedono l'attuazione di un'opera di architettura, hanno subito una graduale specializzazione: il concatenamento naturale del ciclo in più operazioni necessariamente interdipendenti, si è spezzato (conseguenza della *crisi delle scienze europee*). Per ricondurlo ad unità, si riconoscono oggi come necessarie (Ciribini), tre fasi: *programmazione* (messa in relazione delle esigenze sociali con i mezzi tecnici adatti), *attuazione* (reperimento dei mezzi disponibili, indirizzabili al nuovo scopo), *inserimento nel contesto sociale* (in rapporto alla situazione prevista e ai mutamenti di questa dovuti al nuovo intervento).

In questo ciclo, il disegno, corredato da brevi relazioni scritte o da disposizioni orali, è strumento necessario di comunicazione: costituisce il *corpus* riassuntivo organico dell'architetto moderno, che deve tutto *pre-vedere*, e può sempre meno *inter-venire*.

I precedenti storici di tale processo, dal Rinascimento al neoplasticismo, seguono una graduale astrazione dalle finalità (sociali ecc.) e dalle qualità intrinseche alle tecniche costruttive: il concetto dell'*antichità come modello*, guida le arti figurative e anche l'architettura, proprio quando il metodo sperimentale si impone nelle nuove scienze: sono gli aspetti di una condizione sociale tipicamente borghese affermatasi completamente nell'Ottocento, con

lunghe radici già nel Cinquecento mercantile, e propaggini nell'affermata era industriale.

La cultura classica non era solo sistema di educazione e di formazione, ma agiva come mezzo necessario per unificare costumi mentalità culture diverse, per fornire in un linguaggio comune riferimenti sicuri indiscussi estra-

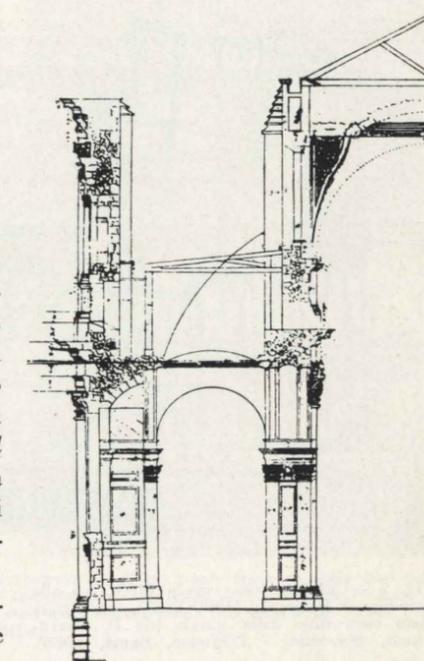


Fig. 1 - Parte sinistra della sezione trasversale della navata di San Paolo a Londra, opera di C. Wren (1632-1723): è evidente la struttura ad archi rampanti ripresa dalla tradizione gotica, e il grande attico sopraelevato (a sinistra), che copre il fianco esterno della navata e sostituisce con una enorme massa muraria di disegno aulico, gli esili pinnacoli delle cattedrali inglesi (da V. FÜRST, *The Arch. of S. C. Wren*, London, 1956).

nei a rivalità regionali o di classe: e ciò ancora prima che la cultura scientifica (attraverso il linguaggio fisico-matematico), costituisse una nuova base comune di sperimentazione, invenzione, diffusione.

Nel campo delle arti figurative e dell'architettura, la cultura classica si alimentava continuamente attraverso lo scavo, il ritrovamento, il commercio, il ri-

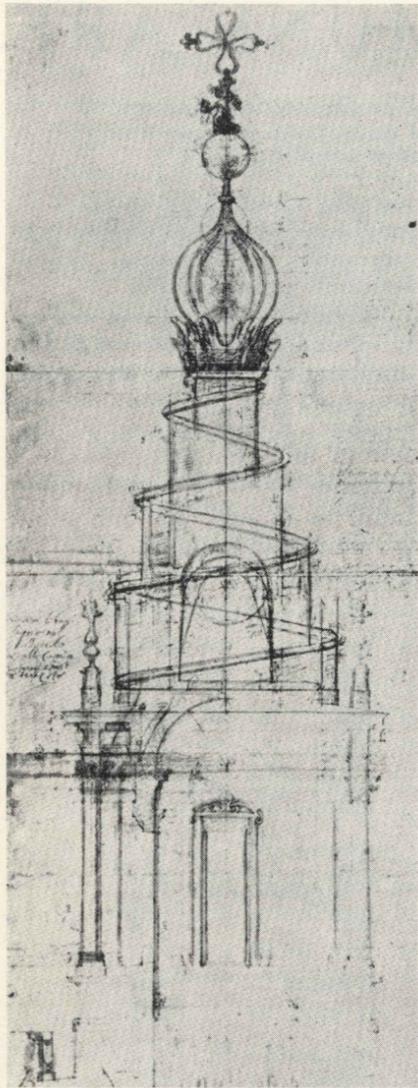


Fig. 2 - Cuspide della cupola di S. Ivo alla Sapienza di Borromini (1599-1667), con il tracciato costruttivo della spirale (da P. PORTOGHESI, Borromini - l'Officina, Roma, 1965).

lievo, la riproduzione, il restauro, l'esposizione di opere dell'antichità classica (intesa in senso lato: quella romana e italica, quella di Ercolano e Pompei, di Palmira, di Atene, di Spalato ecc.).

Nelle stesse operazioni di rilievo e riproduzione si seguiva un processo mentale particolare: si tendeva subito alla generalizzazione e alla schematizzazione, secondo un metodo parallelo a quello delle prime sperimentazioni scientifiche: si favoriva così la formazione di modelli, come si tendeva alla formulazione di leggi.

Con larga approssimazione gli architetti, dall'umanesimo in poi,

utilizzano la tecnica, come strumento successivo ad una operazione ritenuta principale e precedente l'ideazione (che si riferisce a modelli di indiscussa validità, tratti dall'antichità classica), o l'invenzione.

Il disegno di architettura ne è l'espressione diretta ed è già di per sé completa e perfetta opera d'arte.

La prospettiva si pone come nuovo procedimento scientifico (semplificato, quasi vero, come i primi assiomi della fisica classica) adatto a creare spazi completamente nuovi, nati da costruzioni geometriche fondate su poche ipotesi astratte: modelli attendibilmente veri, adatti anche a proporre opere nuove.

Dal disegno e dalla prospettiva derivano famiglie di nuovi «oggetti limite», non più fabbricati, ma ideati nel corso d'una operazione astratta, mentale e grafica.

Gli stili sono quindi ancora gli anagrammati simboli che la cultura, anche a fini didattici, propone alla contemplazione; per creare regole di comportamento fra gli artisti, e precisi riferimenti socio-culturali fra i cittadini. Si smarrisce così una connessione interna diretta fra motivazioni e opere, negli stessi procedimenti costruttivi: tra fini e mezzi di realizzazione.

I caratteri di una disgiunzione fra cultura e mezzi tecnologici (tradizioni costruttive ecc.) sono evidenti nell'architettura classicista francese e inglese (fig. 1) del Seicento e del Settecento. Nel Seicento (fig. 2) e Settecento italiano, invece, si affacciano anticipatrici connessioni con gli sviluppi della matematica e della geometria, nel tracciamento grafico di funzioni complesse, di intersezioni di superfici o di volumi: nel barocco italiano si verifica per la prima volta quella necessaria frattura fra cultura ispirata alla antichità come modello, e cultura scientifica: uno sganciamento che verrà ripreso forse solo nel primo razionalismo europeo.

La definitiva affermazione della civiltà borghese durante e dopo la rivoluzione francese, impone quella unificazione culturale (mai completamente attuata nell'architettura dei secoli precedenti) con ulteriori semplificazioni: l'antichità come modello, purificata da precisi riferimenti storici, tende a canoni di astratta purezza, di greccità; la composizione geometrica dei volumi, a semplici accostamenti stereometrici; la funzionalità a simboli precostituiti (la tecnologia è assente).

La cultura dei tecnici, fondata sugli sviluppi delle nuove scienze e dei nuovi sistemi produttivi, è estranea all'architettura: con sostanziale indipendenza dalla tradizione storica, con una notevole indifferenza all'edificazione di una nuova civiltà urbana, è rivolta con devozione assoluta all'applicazione delle nuove leggi fisico-matematiche, e di quelle economiche, secondo i suoi fini precipi (incremento produttivo, dinamismo di scambi ecc.); cioè ancora secondo gli idoli tipicamente borghesi: il progresso, il successo.

Una funzionalità mistificata nel disegno stilistico, una dignità aulica presente in ogni momento della vita sociale, distinguono le architetture dell'Ottocento. Gli architetti sono univocamente e subito impegnati, per dare nuova imponenza alle opere pubbliche e alle case dei nuovi ricchi, per illustrare un benessere finalmente acquisito, ed un buon gusto senza macchie, perché rispettoso dei modelli antichi.

Gli architetti romantici (dalla prima crisi del neoclassicismo al revival di ogni cultura gotica od esotica) ripropongono spesso il problema essenziale: quello dell'unità e della continuità ciclica idee e mezzi. Ma la nuova qualificazione attraverso concorsi, la difficoltà di comprendere le possibilità architettoniche dei nuovi materiali (ferro, cemento armato), il trionfo delle nuove scuole eclettiche, sono aspetti del mestie-

re edilizio, in una involuzione politica che distingue l'ascesa del capitalismo europeo. Ancora sulle esperienze concrete, svolte in aderenza con i processi costruttivi, prevale il trionfo, la magia della rappresentazione grafica, divenuta illustrazione.

Gli ingegneri si perfezionano prima in favolose costruzioni stereometriche, destinate al taglio delle pietre (fig. 3, 4), ed entrano poi subito in diretto contatto con le nuove tecnologie. Attenti ai problemi della produzione e della esecuzione, più che a quelli dell'aspetto, elaborano una nuova forma di rappresentazione: l'opera finale non è più illustrata nella sua completezza definitiva, ma scomposta nei suoi elementi: i disegni illustrano gli oggetti singoli, e gli schemi di montaggio; diventano mezzi indispensabili per una operatività organizzata e specializzata. Ancora i loro disegni rappresentano la stessa crisi della civiltà moderna: non chiariscono neanche più lo scopo (sconosciuto ai singoli operatori) o l'oggetto finale (del cui aspetto non si preoccupano molto nemmeno i progettisti). I disegni indicano sforzi nelle aste, simboleggiano vincoli statici, illustrano elementi singoli prodotti separatamente (il profilato, il bullone, il ferro del cemento armato): la rappresentazione di oggetti piani prevale su quella di oggetti nello spazio, come le strutture piane sono preferite a quelle tridimensionali: perché la concezione, la verifica statica, il progetto devono seguire modi e leggi particolarmente semplici, pratiche, immediate. Per passare presto alla fase di produzione (fig. 5).

Mentre gli architetti liberi professionisti si confrontano in concorsi grafici, gli ingegneri si affermano in stretto legame con le industrie, in concorsi-appalto, dove non entrano tanto il giudizio sull'opera complessiva, ma il costo, e le caratteristiche d'esercizio delle opere. Mentre gli architetti tendono allo scenario da melodram-

ma, gli ingegneri sono inseriti nel concatenamento di nuovi cicli produttivi.

Gli architetti non sono più in grado di affrontare da soli il progetto di un edificio anche semplice: anziché collaborare con gli ingegneri, li ignorano, fingendo di umiliarli al rango strumentale: disegnano edifici con sezioni piene notevoli, più che sufficienti per le imprese appaltatrici (e per gli ingegneri che dipendono da queste) ad assicurarne, (in qualche modo e con un materiale qualsiasi) la stabilità: a opera terminata resta-

anche l'architettura: da un funzionalismo più predicato che attuato (esempi olandesi di tecnologie luminosamente esaltate, dibattiti tedeschi sull'*existenzminimum*, importantissimi per le nuove tipologie residenziali), il movimento sfocia nel neoplasticismo. Le arti figurative e i mezzi grafici prevalgono: le piante, gli alzati, le sezioni sono altrettante composizioni astratte, impaginate, dipinte come quadri.

L'industria intanto si perfeziona e lega il settore tessile, meccanico, elettrico, in ciclo continuo all'in-

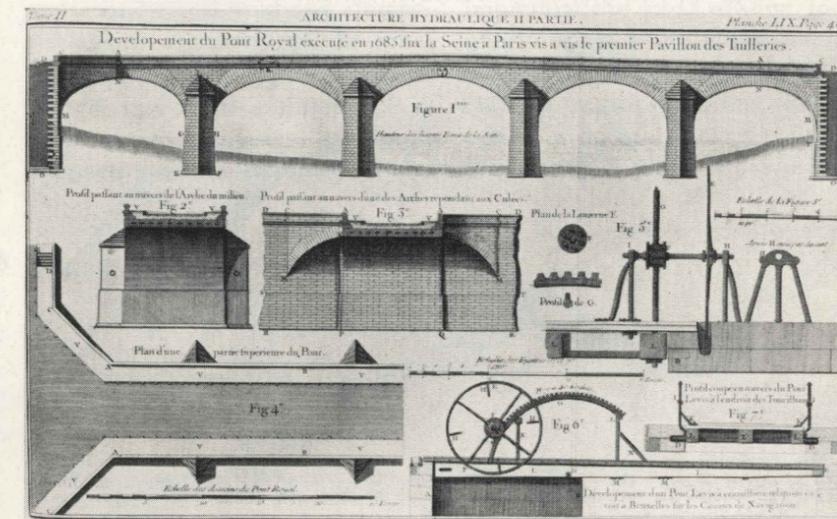


Fig. 3 - Prospetto sezioni pianta, particolari di costruzione di un ponte francese della fine del '600. La tradizione dell'«Ecole des Ponts et Chaussées» è alla base dell'ingegneria francese: le sue origini (metà del Settecento) sono però strettamente correlabili con esperienze molto più antiche.

no spesso cavità interne invisibili, lasciate vuote per la sovrabbondanza delle sezioni di progetto.

Ma ormai la cultura classica, non è più necessaria per l'accesso al potere e alle forze della produzione: è sostituita ormai anche in tale funzione, dalla cultura fisico-matematica. L'assioma dell'antichità come modello non ha più corso.

In architettura, richiamata in vita solo dai nazionalismi fra le due guerre, la radice classicista è giunta a noi, con una condanna forse definitiva.

Le nuove correnti artistiche (futurismo, cubismo) rivoluzionano

gegneria civile, trasponendo in questa i sistemi di comunicazione fra tecnici, elaborati prima, in un travaglio formativo di decenni.

Mentre in architettura, secondo l'antico processo culturale, alla funzione si preferisce l'esaltazione della funzione (nel campo dei costi della costruzione, della distribuzione, delle tecnologie ecc.) in ingegneria si mira alla tecnica, alla produzione, alla serie: nella prima dominano i consumi di élite, nella seconda i consumi di massa.

La seconda guerra mondiale ripropone ogni questione: ma forse anche la fretta di ricostruire,

di sentirsi vivi ed attivi, toglie il tempo per un solido bilancio di cultura.

Oggi il problema della comune appartenenza ad una civiltà prevalentemente industriale si ripropone nella sua concretezza: anche per gli architetti, che devono ricostruire il ciclo citato, *programmazione, attuazione, verifica*; sce-

delle opere: come linguaggio, strumento di comunicazione, indirizzato a collaboratori e a utenti.

2) MODI OPERATIVI

Il nostro mondo di architetti è in veloce trasformazione: se ci si vuole riferire al mondo di oggi (un mondo fra ieri e domani), sa-

no attuare un certo programma: è bene che egli collabori con loro già nelle fasi iniziali, proponendo soluzioni conformi alle più valide tipologie urbanistico-architettoniche: tratterà tutt'al più schemi, illustrerà graficamente tipi: per consentire o negare. Egli svolgerà allora una funzione essenzialmente storico-critica (sulle opere esistenti, sulle tipologie note) anche per conseguire risultati coerenti alla sua convinzione. Come consulente egli può anche attendere alla progettazione di modelli fisici, in alternativa l'uno con l'altro, da proporre alle scelte dei responsabili.

Mutando di poco i termini del problema, l'impostazione è la stessa, sia che si tratti di una committenza individuale, sia che si tratti di un ente nazionale o locale, di una organizzazione finanziaria commerciale, industriale, ecc.

2) Nella prima fase esecutiva l'architetto deve disegnare: una risposta oppure un messaggio per suscitare interessi, per condurre avanti una discussione, per giungere alla definitiva accettazione del progetto. Il suo disegno, come una lettera chiara, fra persone che non intendono ingannarsi, deve tenere conto del livello culturale di chi lo riceve, per essere elemento di comprensione, e non di stupore.

Il disegno (spesso accompagnato da plastici) non può e non deve offendere con disprezzo e violenza la cultura altrui, (« tanto non capiranno nulla »); ma tendere alla *simpatia*. È certamente importante che illustri i caratteri dell'opera e la sua posizione nell'ambiente: certi sistemi grafici, ricercati e brillanti sono inutili, se non tendono all'esplicazione e alla comprensione: mentre efficaci sono invece altre forme di presentazione, diffuse ormai da specialisti (a volte nemmeno architetti) specie in America (v. fig. 6) e in Inghilterra.

3) Nelle successive fasi, ricevuto in qualche modo l'ordine di

progettare, l'architetto dovrà illustrare l'opera agli enti di tutela: e quindi chiarirne ogni aspetto e dimostrare che rispetta le leggi, le norme vigenti (in materia di piano regolatore, di standards urbanistici ed edilizi; di norme antinfortunistiche e antincendi, e anche... in tema di bellezza, quasi si rivolgesse a critici di un'arte in formazione). Auguriamoci che, nel tempo la fiducia nella competenza e serenità degli organi preposti, sia totale: che il rispetto per le norme nasca da un convincimento che può derivare, solo dalla loro stessa validità. Nella sfiducia per le commissioni e per le disposizioni vigenti, il disegno diventa sfuggente o insincero. Di questa terza fase è quindi necessario trattare quasi di sfuggita...

4) L'opera passa alla fase ese-

cutiva: il procedimento moderno è diverso da quello antico.

Dal medioevo in poi gli architetti provenivano da un lungo tirocinio professionale: attraverso il quale conoscevano e sperimentavano le tecniche costruttive correnti (in molti casi venivano loro stessi dai ranghi dei *maestri comacini*): progettando si riferivano alle tecnologie note, incidendo su di esse attraverso graduali proposte, pertinenti innovazioni. Proprio per questa dettagliata competenza costruttiva, quando disegnavano erano soli, o quasi soli (almeno così ce li rappresentano i trattatisti, e così vogliono rimanere, alcuni architetti di illusione, fra ieri e oggi).

Oggi invece gli architetti devono instaurare una estesa gamma di rapporti, prima e durante la reda-

zione del progetto: gli architetti sono responsabili di un progetto (*dirigono un progetto*, si direbbe in ingegneria spaziale); devono quindi essere continuamente aggiornati sui modi di vita degli uomini, sugli orientamenti delle tipologie, e, passando alla fase esecutiva, devono, non solo conoscere i mezzi tecnologici correnti o speciali, ma instaurare vincoli di collaborazione con specialisti di vario livello e grado, per giungere attraverso una previsione e coordinazione degli interventi, ad un fine preciso. Gli architetti devono volgere le tecniche (strutturali, impiantistiche ecc.) al fine loro: quello di essere utilizzate coscientemente secondo chiare finalità sociali in nuove proposte spaziali, valide a ricreare continuamente l'*habitat* degli uomini per propor-

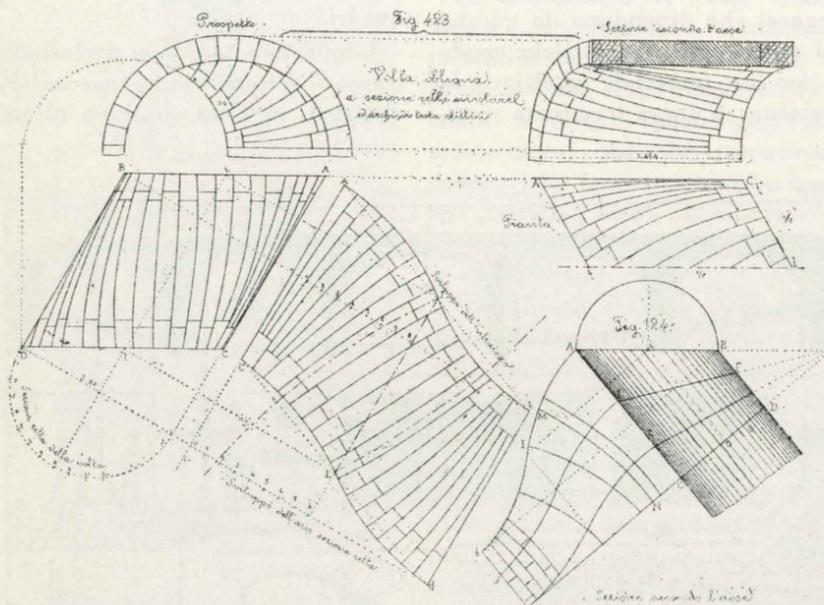


Fig. 4 - Particolari proiezioni stereometriche per la costruzione di archi e volte in pietra da taglio: attraverso le applicazioni della geometria descrittiva si riusciva a determinare la dimensione di ogni concio, da tagliare a piè d'opera, e da montare poi, senza «aggiustaggi», sulle centine.

gliere, utilizzare, coordinare, volgere ai loro scopi le tecnologie attuali e promuovere la ricerca di altre, ritenute necessarie per nuove finalità.

Gli architetti devono quindi collaborare, con altri tecnici, ad ogni livello, e con studiosi (sociologi, ecc.) perché, come gli architetti del *proemio vitruviano*, non possono essere i più esperti di ogni tecnica e di ogni scienza, ma coloro che organizzano in una realtà fisica, nello spazio, le nuove città, i nuovi territori abitati.

Il disegno, perduto ormai quasi il suo carattere simbolico, di solitaria e autonoma ideazione *a priori*, entra in tutte le fasi dell'operosità degli architetti, dalla programmazione all'esecuzione

rà utile riepilogare i modi operativi degli architetti, per capire come entri il disegno, nella loro pratica quotidiana.

Se il disegno è mezzo di comunicazione dell'architetto, con se stesso e con gli altri, occorre chiarire i caratteri dei singoli rapporti.

Nella sua interna coerenza ogni fase si riconduce alla sintesi operativa creativa del progettista, per proporre e definire fisicamente oggetti nello spazio. Decomponendo, staccando le fasi, per pura necessità espositiva, si riscontrano sei modi caratteristici.

1) In un primo ordine di tempo l'architetto è particolarmente a colloquio con gli esponenti di una determinata società, che desidera-

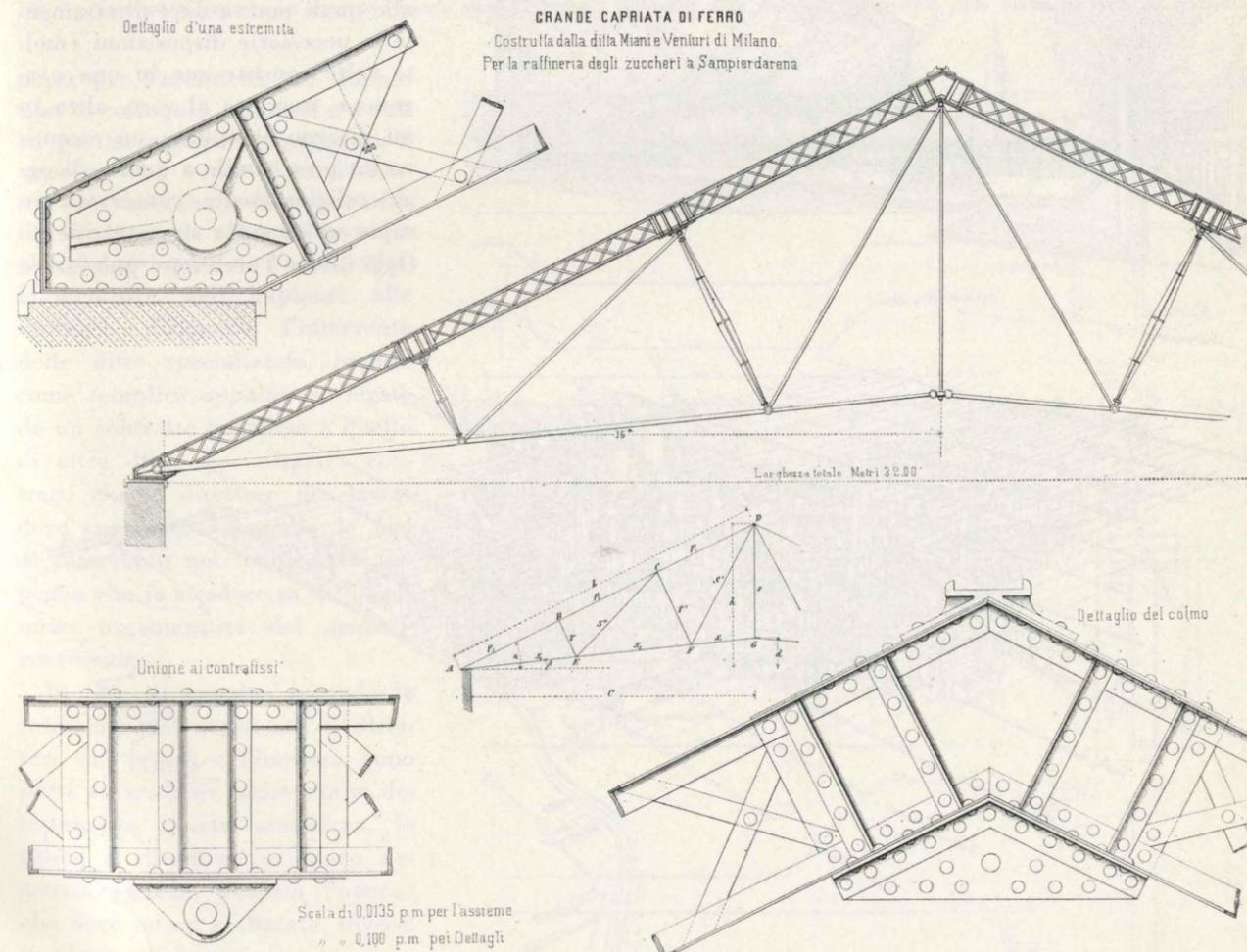


Fig. 5 - Già nelle sue prime fasi, il disegno meccanico diverge da quello architettonico: il confronto fra questa tavola e quelle di coevi trattati di architettura è subito dimostrativo per un nuovo modo di concepire il disegno (Milano circa 1877).

re una nuova cultura e assorbirne le indicazioni, in un ciclo di riverberazioni da indagare scientificamente. Fra i tecnici del loro stesso rango, ci sono gli ingegneri (delle strutture, degli impianti eccetera), con i quali devono preordinare le caratteristiche dell'opera, e formare quel tessuto di rapporti adatti alle infinite correlazioni, connessioni, predisposizioni nello spazio: legami che gli architetti non possono prestabilire.

Nei colloqui iniziali fra archi-

tetto e ingegneri, il disegno compare come insostituibile strumento di comunicazione: saranno confronti con opere già realizzate, saranno schemi, da precisare poi in un successivo sviluppo del progetto (cfr. con i *simulacri* dell'ingegneria aeronautica): andranno e torneranno fra i tavoli degli specialisti e del coordinatore. L'architetto deve poter capire, leggere si dice, i disegni degli ingegneri, e questi comprendere i suoi tracciati iniziali. L'architetto infine deve

utilizzare tutti gli esecutivi che gli vengono dagli specialisti (v. fig. 7), per introdurli in un complessivo esecutivo, che garantisca la coerenza, la congruenza delle soluzioni adottate, e che esprima infine l'opera, nella sua validità formale.

5) Il progetto esecutivo raramente è sintetico: lo è almeno per le verifiche di cui si è detto: ma subito viene smembrato in tanti altri settori operativi, per essere affidato a chi deve eseguire l'opera.

Dal medioevo in poi, questo rapporto non era mediato da forme contrattuali ed organizzative molto diverse e complesse: o l'architetto lavorava nella stessa *équipe* degli esecutori (tagliapietre, eccetera), ed era quindi uno dei loro, o dirigeva opere affidate a squadre alle quali poteva dare direttamente le necessarie disposizioni (molte volte consistevano in una « sagoma » tracciata al vero, altre in un disegno completo; un esecutivo un poco simile a quello di oggi, religiosamente conservato in copia unica sullo stesso cantiere). Oggi invece l'architetto può essere

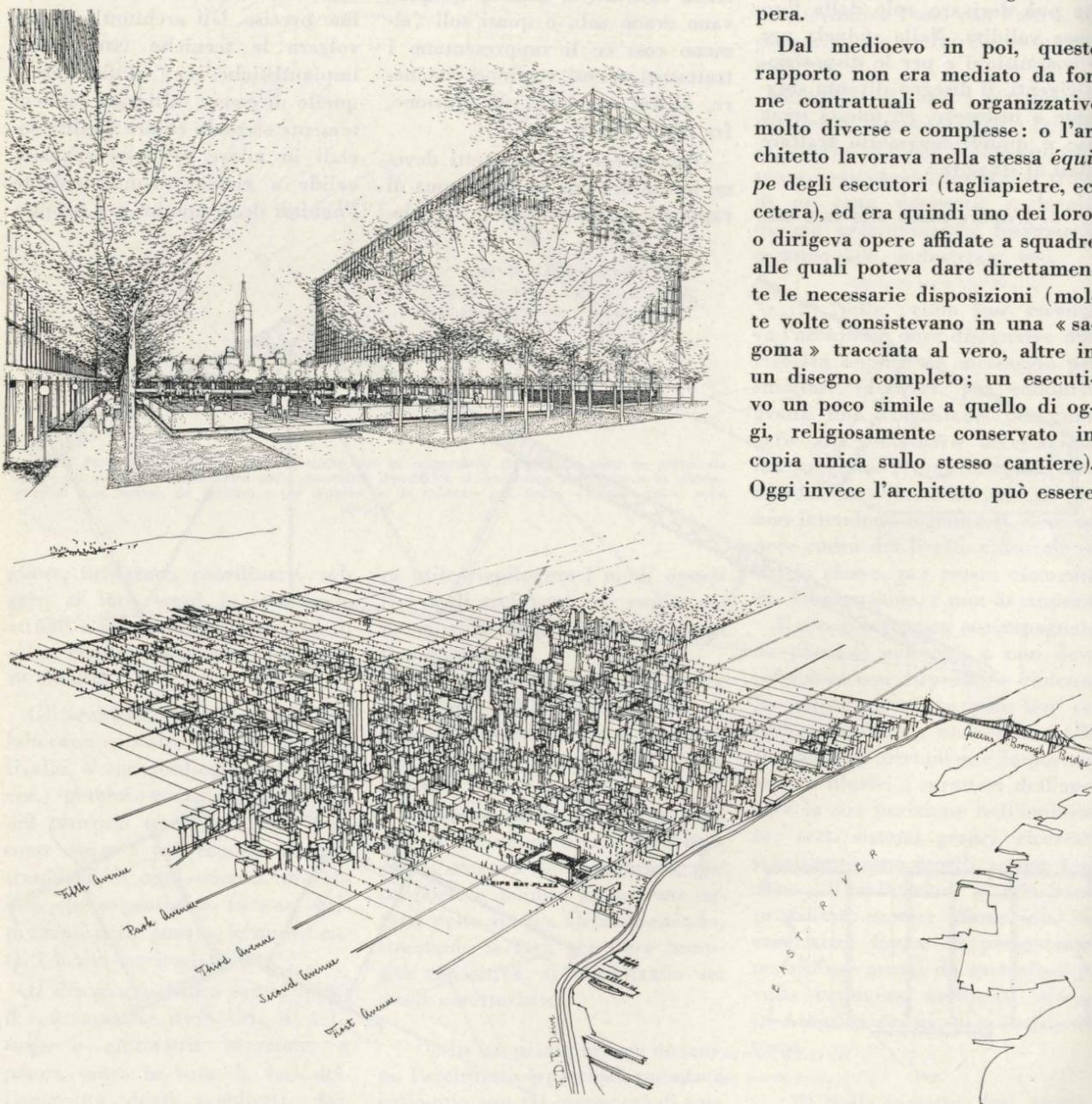


Fig. 6 - Presentazione degli appartamenti dell'ALCOA in KIPS BAY PLAZA a New York, opera dell'arch. Pei.

capo commessa in un ciclo industriale, oppure progettista, oppure anche *direttore dei lavori* secondo la tradizionale figura ottocentesca di sovrintendente e di controllore, di opere affidate per l'esecuzione ad una *impresa*. L'impresa può essere la stessa *società finanziaria* che commette l'opera (il che com-

affatto diversa può anche essere quello di *fiducia* dell'architetto: non appaltatore, scelto quasi solo in funzione del prezzo, ma *pater familias*, che con nota probità amministra i beni suoi e *fa fare economia anche al cliente*: questo imprenditore conosce ormai i modi, le particolarità, le richieste, il

linguaggio insomma dell'architetto. L'architetto potrà allora comunicare anche a tu per tu, con le sue maestranze: ricordo dell'« eupalinos Valeryano », ormai veramente fuori dal tempo.

Pur filtrate attraverso l'analisi, l'organizzazione, l'iniziativa dello imprenditore, le disposizioni del-

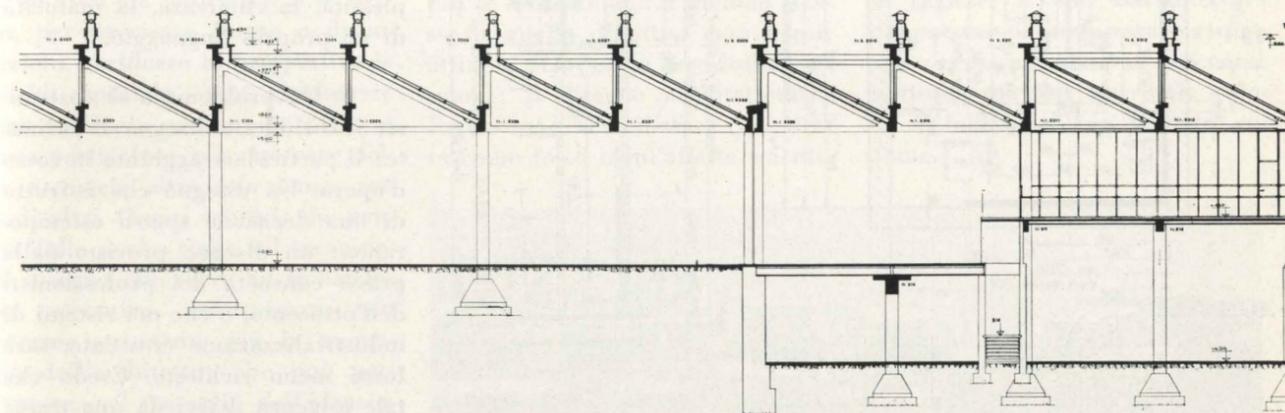
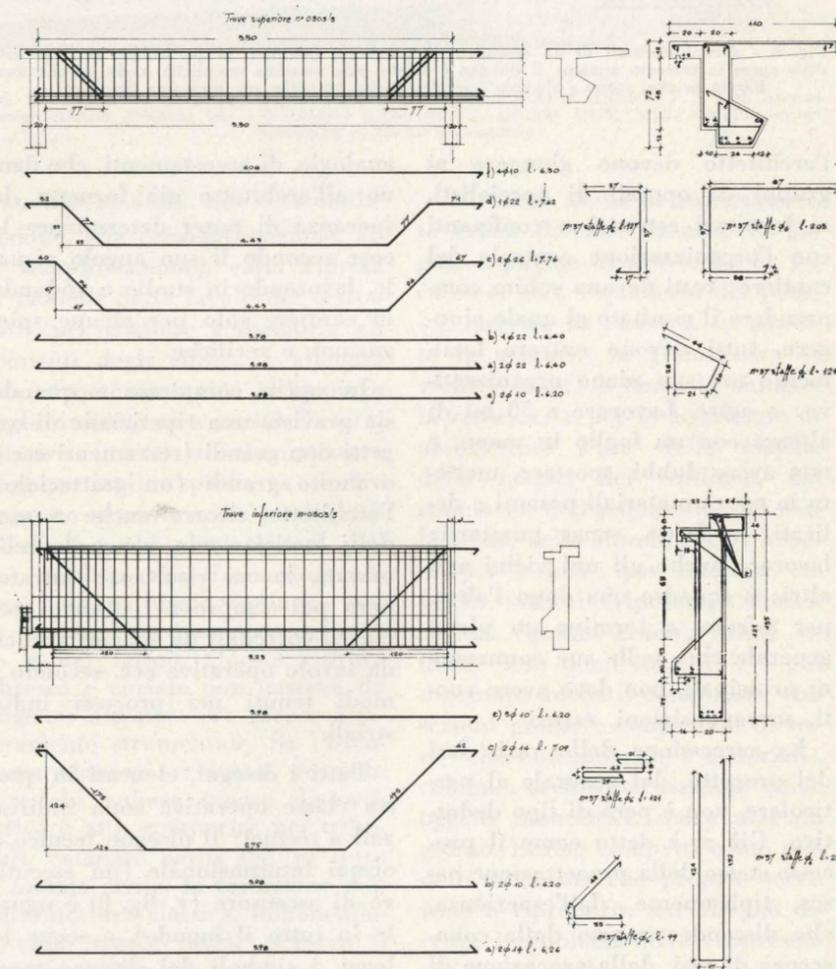


Fig. 7 - Standard di progetto per opera in cemento armato (sezione e particolari delle travi per la struttura della Stamperia Artistica Nazionale).

porta per l'architetto un doppio tipo di colloquio, a monte e a valle, particolarmente impegnato), o *appaltatrice*: come *general contractor*, che assume la responsabilità di tutti gli elementi tecnologici che costituiscono l'opera (dalle strutture, agli impianti, alle finiture), dirigendo l'intervento delle ditte specializzate, oppure come semplice *appaltatore* legato da un contratto parallelo a quello di altre ditte specializzate: contratti che il direttore dei lavori deve coordinare, fissando le fasi di intervento nel tempo: un impegno che fa ricadere su di lui gli oneri organizzativi del *general contractor*.

In caso di appalto, secondo la tradizione dei capitolati, il direttore dei lavori, e l'impresa, sono *parti avverse*: se realmente si determinasse questa atmosfera, la prima a risentirne in modo negativo, sarebbe proprio l'opera: che deve essere realizzata, invece, in piena collaborazione.

L'imprenditore, in una situazione



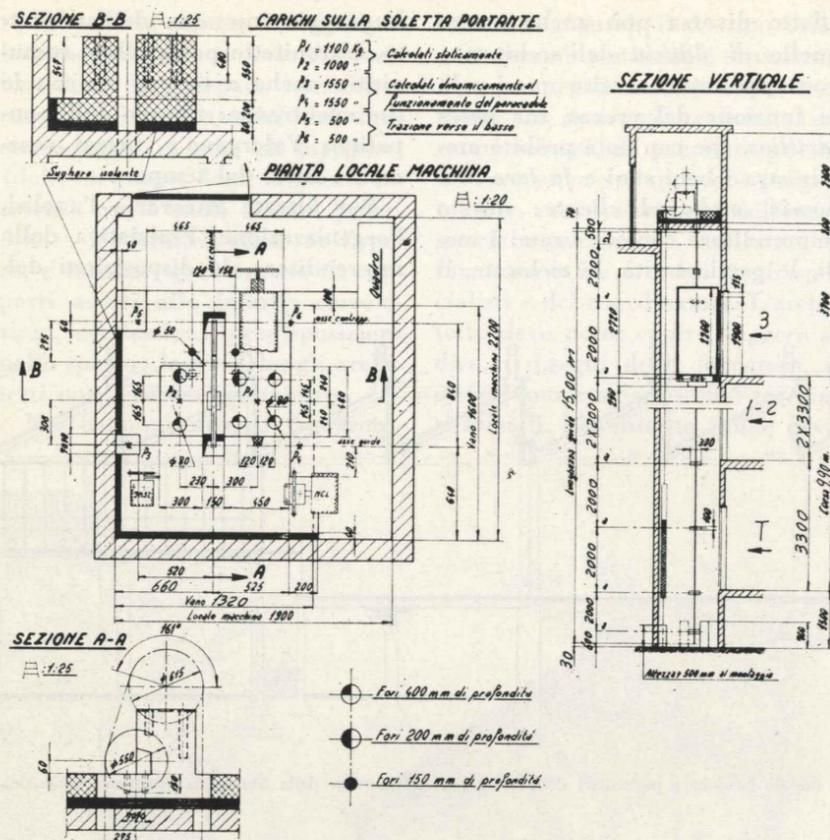


Fig. 8 - Alcuni elementi di un esecutivo di ascensore, destinato in particolare al progettista delle opere in cemento armato: il disegno è ridotto alla massima semplicità anche perché finalizzato in ogni segno e simbolo (esecutivo della Schindler per ascensore Standard).

l'architetto devono giungere ai gruppi di operai, di specialisti, ai fornitori estranei o confinanti con l'organizzazione centrale del cantiere: tutti devono subito comprendere il risultato al quale giungere, tutti devono entrare facilmente nel suo piano organizzativo: e agire. Lavorare a 30 mt di altezza con un foglio in mano, e non avere dubbi, spostare, mettere in opera materiali pesanti e delicati, in fretta, senza guastarli: lavorare anche gli uni vicini agli altri: a squadre una dopo l'altra, per portare a termine un piano generale che, nelle sue connessioni principali, non deve avere vuoti, sovrapposizioni, errori.

La successione delle varie fasi del progetto, dal generale al particolare, non è però di tipo deduttivo. Già si è detto come il processo stesso della progettazione nasca tipicamente dall'esperienza, che discende proprio dalla conoscenza di casi, dalla evocazione di

analogie, di accostamenti, che danno all'architetto già formato, la speranza di poter determinare le cose secondo il suo angolo visuale, lavorando in studio e andando in cantiere solo per alcune spiegazioni, e verifiche.

In opere complesse e quando sia prevista una ripetizione di oggetti non grandi (serramenti ecc.), o molto grandi (un grattacielo), l'architetto ricorre anche a modelli, statici e non, a prove preliminari, le cui risultanze entrano però poi sempre nei disegni esecutivi, corredati da schemi grafici, da tavole operative ecc. secondo i modi tenuti nei processi industriali.

Tutti i disegni, elencati in questa classe operativa sono indirizzati a tecnici: il disegno tecnico è ormai internazionale (un esecutivo di ascensore (v. fig. 8) è uguale in tutto il mondo), e segue le leggi, i simboli del disegno mec-

canico: più che alla rappresentazione dell'opera compiuta, il disegno meccanico tende alla illustrazione dei singoli pezzi, dalla messa in produzione all'impiego: non illustra soltanto oggetti, ma stabilisce anche le fasi di montaggio ecc. Disegno altamente illustrativo di un raggiunto standard industriale, che ha ormai la complessità, la chiarezza, la maturità di un proprio linguaggio.

6) Un problema a sé costituisce il cosiddetto disegno di variante: il particolare aggiunto in corso d'opera. Un disegno che è frutto di una decisione spesso estemporanea: un disegno previsto dalla prassi consueta dei professionisti dell'ottocento, e che nei sistemi di industrializzazione crescente, sarà forse meno richiesto. Credo che tale esigenza derivi da una prassi di poco chiari rapporti con la committenza, da una scarsa analisi dei problemi funzionali ecc. del nuovo edificio e anche dall'abitudine di lasciare aperto un problema, o di non sviluppare subito un particolare, per rinviare la soluzione a successive fasi esecutive. Questo è un errore: per i mille collegamenti impliciti in un progetto è molto difficile ricostruire a posteriori una sola parte del processo creativo: inserire una nuova trama nell'ordito, sviluppare, compiere, un'azione iniziata mesi prima e poi magari interrotta per attendere ad altre cose, e riprenderla senza avere riferimenti, ricordi precisi. Si dovrebbe trattare in questi casi di una integrazione o reinterpretazione che può nascere da verifiche, da rilievi critici fatti dall'architetto sull'opera in formazione; che sono importanti, ma che non dovrebbero essere necessari.

Il disegno che l'architetto fornisce nei casi di variante non può però mai essere frutto di una evasione dal tema iniziale: una totale innovazione.

E se derivasse da un pentimento? Pare che l'architetto possa pentirsi solo dopo, per l'opera ese-

guita (e come dice Wright, farci tutt'al più crescere un rampicante...).

7) L'architetto, nel corso della elaborazione di un progetto di massima ed esecutivo (dalle prime indagini, agli ordinativi) esegue una enorme quantità di schizzi, di abbozzi di studio - non destinati ad altri ma indirizzati a sé stesso, per precisare forme e disposizioni, verificare in prospettiva la realtà spaziale, per richiamare una tipologia nota e riportarla al caso particolare, per ricercare nella memoria altre esperienze, sue o di altri. Questi schizzi, che vanno dalle poche righe sul taccuino, al disegno che serve ad imbastire un esecutivo, costituiscono un enorme strumento per la memoria dell'architetto: che può percorrere, nel travaglio dell'ideazione, strade anche tortuose: nel loro complesso costituiscono la sua stessa esperienza, applicata al caso particolare.

Questo corpus più o meno organico di disegni fatti di getto, serve per sé e per i suoi collaboratori diretti in un colloquio stretto, senza convenzioni: è un insieme di note rivolte ad una strumentazione successiva, che può interessare in sede critica (per indagare la personalità di un maestro e la sua ricerca), ma che non è mezzo di espressione destinato a larga comprensione. È ancora infatti, un disegno che non si può insegnare e che non ha leggi: che ogni progettista elabora, dalla scuola in poi, nella cosiddetta composizione architettonica (parola che riporta, fin troppo, il paragone verso termini musicali).

3) PROBLEMI DIDATTICI

L'insegnamento del disegno deve essere correlato ai modi operativi dell'architetto: per insegnare qualcosa occorre essere convinti dell'utilità di ciò che si insegna: verificare continuamente gli aggiornamenti della disciplina e le

sue proiezioni avvenire. È quindi evidente come i modi operativi ereditati da una tradizione storica, siano immediatamente riferibili ad essa: non può essere irriso l'insegnamento delle accademie, quando hanno formato i maggiori architetti, e le più grandi scuole: ma si può dire invece che le finalità di quella didattica non sono più le nostre e che il metodo stesso di quella didattica non è più attuale. Si possono fare infiniti esempi: il disegno architettonico, basato sul rilievo diretto (si è detto come fosse nient'affatto scienti-

dignità e organizzazione, che si erigeva a modello sicuro, di equilibrato buon gusto, e che si poteva anche esportare, come premio per un raggiunto livello sociale ed economico: quale simbolo di integrazione. Questi aspetti del problema non possono essere sottovalutati: il fatto che oggi nei congressi internazionali si parli in inglese, e che l'architettura giapponese sia ammirata e rispettata e presa ad esempio, non come esotismo, ma nel suo reale valore, è indizio di un mutato costume.

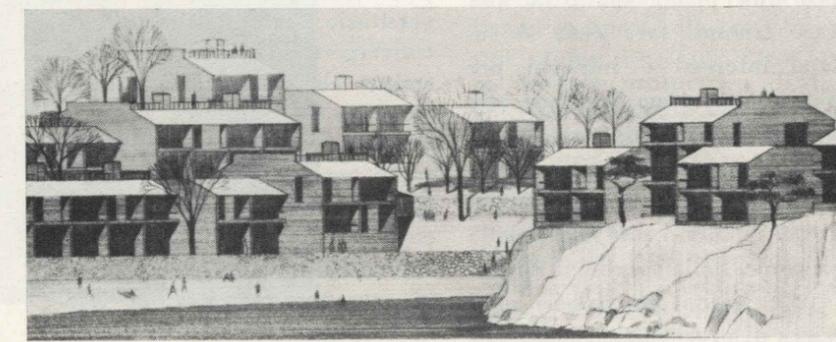


Fig. 9 - Disegno di un gruppo di progettisti americani, presentato al Concorso P/A 12th Annual Design Awards Program (da « Progressive Architecture », gennaio 1965; Arch. and Pl.: Allan Chapman e Harold L. Goyette).

fico, ma tendesse alla schematizzazione, alla razionalizzazione, alla semplificazione), sulla ripresa di modelli dalle tavole dei trattatisti (per cogliere a memoria gli elementi degli edifici, e allenare alla conoscenza e cioè all'impiego degli ordini), su esercizi di prospettiva (adatti a schematizzare l'oggetto nello spazio, a creare l'oggetto attraverso la predisposizione di pochi elementi nel piano), serviva alla formazione di una base culturale comune, tanto quanto l'insegnamento del greco e del latino. Questa cultura libresco e curiale non nasceva da esigenze astratte: era invece assolutamente strumentale. Se l'istruzione classica serviva a promuovere chi volesse tenere discorsi, scrivere atti, comparire nei tribunali, emanare editti ecc. in tutto il mondo civile, la tradizione dell'architettura classica, imponendosi sulle scuole locali, volgeva il mondo occidentale verso un'unica

Gli stessi modi di insegnamento erano diversi: le aste, le pagine e pagine di *a a a*, *ba be bi*, *ca ce ci* ecc., i quaderni dei pensieri (*io rispetto la maestra*, *io rispetto la maestra*) la grammatica (i verbi regolari e non), la sintassi, la retorica: e per le accademie di architettura l'uso della matita, della penna, del tiralinee, del compasso, dell'acquarello, del carboncino, dello sfumino ecc.: lezioni per lezione: per tracciare capitelli toscani (riposanti), dorici, corinzi (quinto grado), volute ioniche (con quali sistemi?); e poi disegnare anche il complesso: con sezioni grosse e contornate di nero (che non indicano i materiali), colonne, architravi, timpani come oggetti monolitici, senza mai un giunto. Edifici compatti come modelli di gesso: che proprio servivano a riproporre nel disegno diretto, i problemi della rappresentazione spaziale.

Oggi invece la didattica, nelle sue implicazioni filosofiche, psicologiche, sociologiche, metodologiche, sta assumendo un aspetto assolutamente diverso: si vogliono riconoscere ai giovani autonome vocazione e interessi personali, prima negati (era tipico nell'ambito di formazione classica, dal medioevo in poi, il disprezzo totale per il bambino, l'adolescente, il giovane, riscattato poi solo dalla prima ventata romantica). Per ottenere questo si seguono i processi della formazione, dall'infanzia alla prima maturità, per evitare traumi, tare ecc., si suscitano interessi e impegni per iniziative autonome, si tende alla preparazione professionale con metodi non pedanti od oppressivi, ma adatti ad inserire gli allievi nei momenti più vivaci della produzione, della sperimentazione. Si vuole infine far cadere ogni barriera di preclusione sociale per l'accesso agli studi superiori, ed equiparare i livelli di ciascun grado e ordine di scuole.

Da queste indicazioni è chiaro rilevare come nell'allievo sia stimolata l'iniziativa, e promossa una formazione didattica autonoma e cosciente.

Non si dice più: *solo facendo dieci ore di marcia al giorno, in piazza d'armi, si diventa un buon militare*, nemmeno nelle caserme.

E per gli studenti di architettura? Poiché i modi operativi sono quelli elencati, e ce ne sono forse altri, come ce ne saranno certamente altri in avvenire, occorre nella scuola pressante tensione a prenderne coscienza, per operare in conformità.

Il primo modo citato avanti nasce dalla pratica dei rapporti quotidiani con chi commette l'opera e può essere ripreso a scuola nel colloquio quotidiano con gli assi-

stenti e i docenti di *composizione* (v. 2,1).

Il secondo modo tende alla rappresentazione di oggetti nello spazio, oggetti prima esistenti, poi solo pensati o illustrati in proiezione ortogonale: esistono ormai vere scuole (v. fig. 9), disponibili a presentare opere proprie o di altri (v. 2,2).

Il terzo modo richiede anche una riforma del costume; che dovrebbe essere dibattuta nelle università (v. 2,3).

Il quarto modo comporta l'apertura a collaborazioni interdisciplinari, da attuare in ambito universitario: la didattica dovrebbe convergere su di un tema circoscritto, che serva da polo di riferimento, da punto di applicazione dei vettori, dei moventi operativi, per più persone, esperte in più rami. Esse si esprimeranno con i loro linguaggi, grafici e non, affinandoli in un confronto diretto: saranno esercitazioni importanti anche dal punto di vista della ricerca scientifica, per le discipline architettoniche (v. 2,4).

Il quinto modo riguarda gli esecutivi: essi dovrebbero essere rappresentati in un linguaggio unico: non ci sia cioè un modo di disegnare i marmi, uno i serramenti in legno, l'altro i serramenti in ferro, gli impianti ecc. Oggi il disegno che ha raggiunto il più alto grado di affinamento, è il *disegno meccanico*: importantissimi sono i riferimenti operativi che contiene, e che devono essere presenti nella concezione, progettazione delle opere: deve essere quindi insegnato anche nell'ambito universitario (v. 2,5).

Il sesto modo operativo, il disegno di variante, è fin troppo richiesto a scuola, già oggi (direbbero gli allievi...), e non è il caso di illustrarlo oltre (v. 2,6).

Il settimo modo non può essere insegnato se non progettando;

quindi, nei corsi di *composizione architettonica* (v. 2,7).

In ciascuna fase (specie nella 2^a, 3^a, 4^a, 5^a) il disegno non è indirizzato a una o due persone o gruppi, ma a molti: deve cioè essere subito riproducibile in tutte le copie necessarie: come un foglio ciclostilato, o un libro. Per questo i disegni in copia unica non servono quasi a nulla.

Le esigenze di una più rapida formazione degli architetti al primo grado universitario (*diploma*, nella unificazione delle leggi del M.E.C.) comporteranno un più diretto inserimento dell'allievo nel concreto clima operativo, che distinguerà la sua attività avvenire. Il disegno d'architettura, come opera d'arte in sé e per sé, non interessa più; la pratica grafica è intessuta di correlazioni molteplici: il disegno, da *rappresentazione* di un'opera, sta diventando *linguaggio* necessario per comprendere ed eseguire: il linguaggio grafico degli architetti si sta inserendo così nell'ambito delle più vaste esperienze, in un capitolo particolare della teoria dell'informazione, importante specie se ci si riferisce ai nuovi programmi operativi.

Occorre considerare la didattica come confronto diretto fra operatività nostra e formazione autonoma dell'allievo: nel rispetto per le vocazioni dei giovani, nel giudizio sulla nostra attività, nella critica continua e aperta, la didattica del disegno diventa un aspetto di una più generale didattica dell'architettura, che tende a preparare giovani, più appassionati, più liberi, più colti, più maturi di noi, nella loro attività di architetti e di urbanisti.

(Per molti argomenti può essere interessante un richiamo alle « Relazioni » del Convegno sui problemi grafici dell'Ingegneria e dell'Architettura », A.R.T.S.I.A. novembre 1963, e ai « Problemi Scientifici del Disegno » di A. Cavallari-Murat in A.R.T.S.I.A. maggio 1963).

Roberto Gabetti