

# 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 fissate non impegnano in alcun modo la Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

## Sul calcolo statico di una particolare diga a volta

LIVIO NORZI considera il caso, non di rado realizzabile in pratica nelle dighe che sbarrano valli d'incisione, in cui il raggio dei cerchi orizzontali varia inversamente al loro spessore e fa vedere come sia allora possibile eseguire l'analisi degli sforzi colle sole trascendenti elementari.

Nelle dighe ad arco-cupola è d'uso svolgere lo studio statico per approssimazioni successive seguendo uno schema che è stato chiaramente esposto (\*) dal professor Krall:

1) Calcolo (grafico) degli sforzi di membrana e delle pressioni efficaci sugli anelli orizzontali;

2) Verifica degli archi incastrati orizzontali come se fossero sciolti dal mutuo legame costituito dai meridiani;

3) Modifica delle pressioni efficaci tenendo conto del funzionamento delle fibre verticali quali travi di ripartizione (per solito vincolate a cerniera al piede e libere in sommità).

In quest'ultima fase le complicazioni analitiche sono talvolta non piccole ed è quindi forse di qualche interesse riferire qui di un caso particolare in cui gli sviluppi possono semplificarsi consentendo di seguire più facilmente, attraverso ad essi, la realtà fisica.

La diga situata alla confluenza dei torrenti Sèssera e Dolca, che è entrata in funzione nel 1961, fa parte d'un sistema di regolazione degli impianti del Lanificio Mario Zegna di Trivero. Progettista della parte idraulica e direttore di tutti i lavori fu l'ing. Mario Muretti, in collaborazione col sottoscritto, progettista della cupola di sbarramento.

(\*) GIULIO KRALL, *La diga di sbarramento*, ed. Perrella, Roma, 1951.

Le caratteristiche geometriche delle superfici cerchiata della diga appaiono graficamente nella tavola allegata; la loro precisa definizione è la seguente: nel piano verticale d'asse l'estradosso è un arco di spirale logaritmica tangente alla verticale a quota 894,60 con polo a quota 872,40 e definita dalla condizione di moltiplicare per 3/2 il raggio vettore ogni 30° d'incremento d'anomalia; l'intradosso è uguale all'estradosso spostato orizzontalmente di m 3,60 e verticalmente di m 3,00 verso l'alto; le sezioni orizzontali sono corone circolari il luogo dei cui centri nel piano verticale d'asse è un arco di circolo di 50 metri di raggio con centro a quota 872,00 e distante m 72,80 dalla tangente verticale all'estradosso; quest'arco di circolo è sostituito dalla sua tangente oltre quota 915,00 e fino alla cresta a quota 924,00.

La linea delle imposte al pulvino vista in prospetto da valle risulta formata da due archi simmetrici di parabola d'equazione  $\left(\frac{z}{5,34}\right)^2 = H - 882$ , raccordati con circolo di piccolo raggio alla orizzontale di quota 886,00 (base diga).

In questo modo la superficie media della diga presenta raggi di curvatura principali poco diversi ed in rapporto poco variabile in tutto il corpo centrale della costruzione (1,4 ÷ 1,7), cosa

che ci sembra necessaria ed opportuna per un buon comportamento a cupola.

Inoltre lo spessore varia sensibilmente con legge esponenziale ed il suo prodotto per il raggio medio è pressochè costante.

(Notiamo che avremmo anche potuto partire da queste proprietà, postulate come esattamente verificate, per definire la geometria della diga ottenendo un solido quasi identico).

Grazie a queste circostanze, ecco come s'imposta il calcolo delle pressioni efficaci (supposte al solito costanti orizzontalmente su ciascun cerchio, come è abbastanza ben plausibile nel nostro caso):

Sia l'origine degli assi riportata in cresta con l'asse y positivo verso il basso e siano

$u = u(y)$  lo spostamento elastico orizzontale radiale

$s = s_0 e^{Ky/3}$  lo spessore

$J = J(y) = J_0 \left(\frac{s}{s_0}\right)^3 = J_0 e^{Ky}$  il momento d'inerzia di una striscia larga un metro

$c(y) = \frac{R^2}{Es}$  il coefficiente elastico dell'arco alla profondità y ossia la riduzione di raggio dell'arco stesso in conseguenza all'applicazione di una pressione radiale unitaria.

Risulta:  $c(y) = C_0 \frac{R^2 s_0}{R_0^2 s} = C_0 e^{-Ky}$

È noto che nella striscia verticale unitaria si ha il momento flettente

$$M = EJ \frac{d^2 u}{dy^2} = EJ_0 e^{Ky} \frac{d^2 u}{dy^2}$$

l'arco a quello della striscia verticale si ottiene:

$$u = (p - p_1) \cdot c(y) = p_2 c_0 e^{-Ky}$$

e posto:  $\lambda = EJ_0 c_0$   
l'equazione che permette di valu-

dici dell'equazione caratteristica  $1 + \lambda \mu^2 (\mu + K)^2 = 0$ .

Applicando il metodo suddetto si sono ottenuti i risultati rappresentati graficamente negli uniti diagrammi in cui le linee a tratti rappresentano i valori calcolati per gli « archi sciolti » mentre le linee continue indicano i risultati finali dell'analisi.

Come era intuitivamente prevedibile il calcolo è ulteriormente semplificato dal poter trascurare in pratica l'azione del bordo superiore libero perchè le strisce verticali intervengono in misura importante solo nella parte inferiore della diga in cui gli archi meno snelli sono bene alleggeriti e le inevitabili trazioni all'estradosso di spalla verso la base data dall'ipotesi degli archi elastici « sciolti » scompaiono quasi del tutto o almeno si riducono entro limiti ridottissimi ed ammissibili con armature metalliche modeste (~15 kg di ferro/mc).

Osserviamo infine che col procedimento qui esposto si sono ottenuti momenti flettenti massimi dello stesso ordine di grandezza nei due sensi e però i momenti delle strisce verticali sono risultati circa metà di quelli anulari. Ciò dimostra, e sia pure indirettamente, l'attendibilità del procedimento in quanto porta a risultati conformi all'intuizione per un lastrone a doppia curvatura.

Inoltre il modo scelto per valutare la flessibilità degli archi (che viene sostanzialmente sotto-stimata prescindendo dalle eccentricità elastiche della curva delle pressioni negli archi incompleti) è prudente in quanto fa intervenire solo moderatamente la riserva statica rappresentata dalle fibre verticali: per maggiori valori di  $\lambda$  queste interverrebbero più intensamente a flessione, restando peraltro limitata tale possibilità dal lato progettistico per la condizione di non parzializzare le sezioni verticali stesse (il che nella nostra diga è garantito con una certa larghezza).

Livio Norzi

# Effetto delle deformazioni lente in un cavalcavia a travi miste iperstatiche

PIERO ANTONINO e RENATO MARTELLOTTA svolgono il calcolo della travata di un cavalcavia a travi iperstatiche a sezione mista acciaio-calcestruzzo. Esso viene condotto secondo il metodo da loro esposto nell'articolo « Equilibrio elastico-viscoso di travi miste iperstatiche » (« Atti e Rassegna Tecnica » n. 4, aprile 1962). I risultati del calcolo sviluppato secondo il detto metodo vengono confrontati con quelli ottenuti per le medesime condizioni di sollecitazione, mediante il metodo della variazione del modulo. Da questo confronto gli AA. rilevano come quest'ultimo procedimento di calcolo, di facile impiego e perciò spesso adottato dai progettisti per il calcolo degli effetti del fluage, fornisca dei risultati affatto discordanti da quelli ricavati con il metodo più rigoroso che consiste nell'attribuire al calcestruzzo la cosiddetta legge del « fluage lineare semplificato » che pur trascurando l'elasticità ritardata, costituisce una rappresentazione assai più soddisfacente della realtà fisica.

## Introduzione.

Nella presente nota, viene svolta un'applicazione numerica del metodo di calcolo sviluppato nell'articolo intitolato « Equilibrio elastico-viscoso di travi miste iperstatiche », pubblicato in « Atti e Rassegna Tecnica », n. 4, del mese di Aprile 1962.

Oggetto di questa applicazione numerica è un cavalcavia autostradale, del tipo già illustrato nel paragrafo 2 dell'articolo citato. Precisamente si tratta di travi continue simmetriche (fig. 1), formate da un'anima a cassone aperto in acciaio, cui viene collegata una soletta in calcestruzzo armato, mediante staffe annegate nel getto e saldate alla piattabanda superiore del cassone (fig. 2): l'impalcato del cavalcavia è costituito da quattro travi del tipo suddetto (fig. 3).

Il calcolo qui appresso riportato, segue passo passo la trattazione teorica di cui all'articolo citato e comporta pertanto i seguenti paragrafi:

- 1) Determinazioni preliminari
- 2) Effetti del fluage sul regime statico indotto dal ritiro:

— calcolo con il metodo semplificato sulla travata a sezione variabile;

— calcolo con il metodo esatto e con quello semplificato della travata a sezione costante.

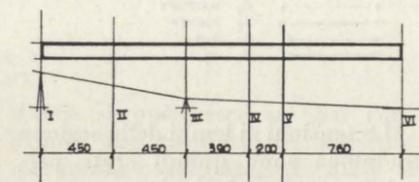


Fig. 1

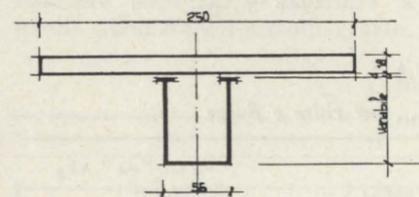


Fig. 2

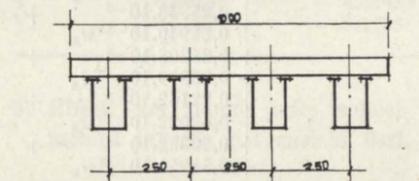


Fig. 3

3) Effetti del fluage sulle sollecitazioni indotte dai carichi fissi.

4) Effetti del fluage sul regime statico indotto da un innalzamento degli appoggi estremi (distorsione).

Nelle conclusioni, i risultati ottenuti con il metodo analitico, sono confrontati con quelli ottenuti con il metodo approssimato, che consiste nell'assimilare l'effetto del fluage ad una variazione del modulo elastico del calcestruzzo.

## 1) Determinazioni preliminari.

Sono state considerate undici sezioni che suddividono la travata di fig. 1 in dieci tronchi simmetricamente disposti (pertanto è sufficiente considerare, come si è appunto fatto, solo metà della struttura).

Nella tabella 1 sono raccolte le caratteristiche delle sezioni calcolate con un rapporto dei moduli elastici  $m = 7$ .

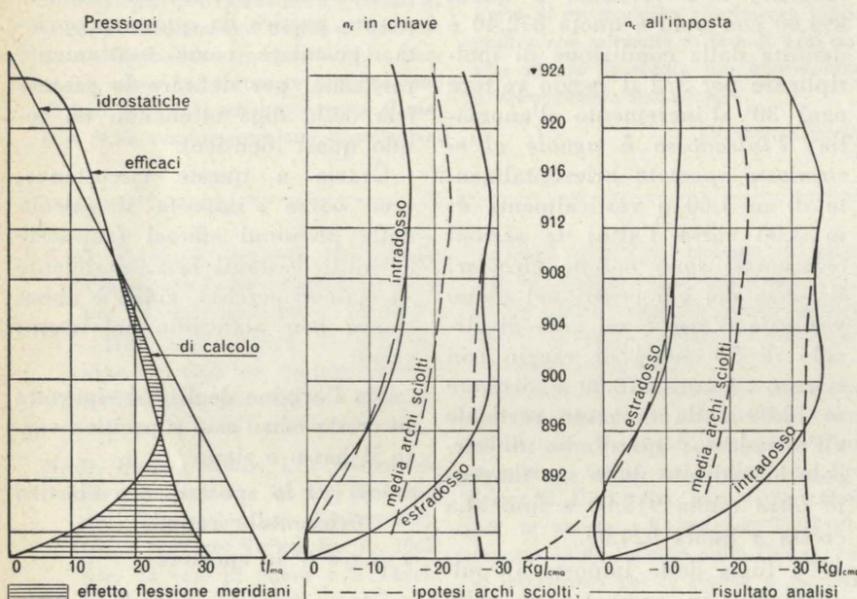
Nell'applicazione del teorema di Volterra la integrazione è stata ridotta a sommatoria non essendo esprimibile la forma analitica della variazione di sezione con  $z$ .

In tal caso si ha:

$$\bar{M} = 2 \sum_{I}^{VI} M_{\varphi} \bar{\mu}_{\text{medio}} \Delta z_i$$

( $\bar{\mu}_{\text{medio}}$  = rotazione impressa media del tronco considerato).

Il momento fittizio  $M_{\varphi}$  che nasce da una distorsione unitaria



e quindi viene da essa striscia sopportata una pressione ripartita

$$p_1 = EJ_0 \frac{d^2}{dy^2} \left( e^{Ky} \frac{d^2 u}{dy^2} \right)$$

mentre sull'arco resta una pressione  $p_2 = p - p_1$  ove  $p$  è la pressione efficace che nel nostro caso può ritenersi variabile linearmente con  $y$ :

$$c_0 p = a_0 + a_1 y$$

Uguagliando lo spostamento del-

l'azione di lastra-cupola si scrive così:

$$u e^{Ky} + \lambda \frac{d^2}{dy^2} \left( e^{Ky} \frac{d^2 u}{dy^2} \right) = a_0 + a_1 y$$

Essa ammette l'integrale generale elementare:

$$u = (a_0 + a_1 y) e^{-Ky} + (u_1 \cos \gamma y + u_2 \sin \gamma y) e^{\alpha y} + (u_3 \cos \gamma y + u_4 \sin \gamma y) e^{\beta y}$$

dove  $\alpha \pm i\gamma$ ,  $\beta \pm i\gamma = \mu$  sono le ra-

di Volterra introdotta nella sezione VI (fig. 1), risulta:

$$M_{\varphi} = -0,74355 \times 10^9 \text{ Kgcm}$$

2) Effetti del fluage sul regime statico indotto dal ritiro.

Il calcolo è stato eseguito adottando le seguenti ipotesi:

— modulo elastico dell'acciaio  $E' = 2 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$

— modulo elastico del calcestruzzo  $E = 3 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$

— coefficiente di fluage  $\gamma = 1/300.000$

— coefficiente di ritiro  $\bar{\alpha} = 0,25\text{‰}$

2.1) Calcolo col metodo semplificato sulla travata a sezione variabile.

Nella tabella 2 sono raccolti i parametri della deformazione impressa  $\bar{\lambda}_{\infty}$  e  $\bar{\mu}_{\infty}$  calcolati per le varie sezioni in base al metodo esposto al paragrafo 2.1) dell'articolo citato nell'introduzione.

Le tensioni ai lembi della sezione metallica sono quindi state calcolate con le relazioni:

$$\sigma_{f \text{ sup}} = \frac{\bar{M}_R}{W_{f \text{ sup}}} +$$

TABELLA 2

Valori finali  $\bar{\lambda}_{R \text{ tot}}$  e  $\bar{\mu}_{R \text{ tot}}$  per ritiro e fluage

Sezioni	$\bar{\lambda}_{R \text{ tot.}} = \bar{\lambda}_A + \bar{\lambda}_{M_R}$	$\bar{\mu}_{R \text{ tot.}} = \bar{\mu}_A + \bar{\mu}_{M_R}$
I	-1,93396.10 <sup>-4</sup>	+0,42022.10 <sup>-5</sup>
II	-1,85395.10 <sup>-4</sup>	+0,31904.10 <sup>-5</sup>
III	-3,63418.10 <sup>-13</sup> $\bar{M}_R$	+0,70910.10 <sup>-13</sup> $\bar{M}_R$
IV	-1,77732.10 <sup>-4</sup>	+0,25543.10 <sup>-5</sup>
V	-5,62033.10 <sup>-12</sup> $\bar{M}_R$	+0,85940.10 <sup>-13</sup> $\bar{M}_R$
VI	-1,76669.10 <sup>-4</sup>	+0,25205.10 <sup>-5</sup>

Ne risulta:

$$\bar{M}_R = -610,73 \times 10^4 \text{ Kgcm}$$

Nella tabella 3 sono raccolti i parametri della deformazione impressa comprensivi degli effetti isostatico ed iperstatico.

TABELLA 3

Valori di  $\bar{\lambda}_{R \text{ tot}}$  e  $\bar{\mu}_{R \text{ tot}}$

Sezioni	$\bar{\lambda}_{R \text{ tot}}$	$\bar{\mu}_{R \text{ tot}}$
I	-1,93396.10 <sup>-4</sup>	+0,42022.10 <sup>-5</sup>
II	-1,63634.10 <sup>-4</sup>	+0,27664.10 <sup>-5</sup>
III	-1,44124.10 <sup>-4</sup>	+0,20404.10 <sup>-5</sup>
IV	-1,43792.10 <sup>-4</sup>	+0,20224.10 <sup>-5</sup>
V	-1,36607.10 <sup>-4</sup>	+0,18393.10 <sup>-5</sup>
VI	-1,32113.10 <sup>-4</sup>	+0,17546.10 <sup>-5</sup>

DIAGRAMMA DELLE TENSIONI AI LEMBI

Calcolo con la teoria delle coazioni

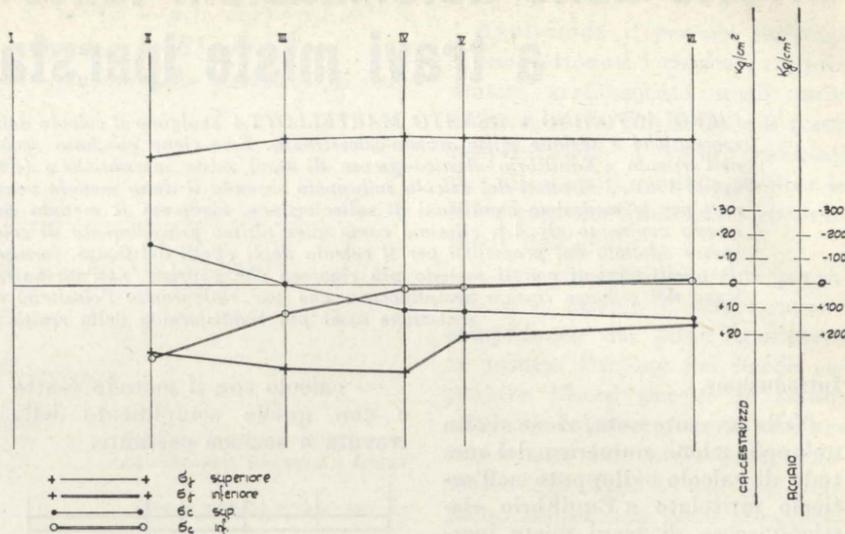


Fig. 4

nel ferro dall'effetto totale del solo ritiro, caratterizzata dalla sua grandezza  $R$  e dal suo momento  $M_C$ , preso rispetto al baricentro della sezione di cls. Osservando che, considerata a parte la caratteristica di sollecitazione esterna  $\bar{M}_R$ , tale risultante deve essere in equilibrio sulla sezione, si sono dedotti i valori della sollecitazione ai lembi della sezione di calcestruzzo mediante l'espressione:

$$\sigma_{c \text{ sup}} = -\frac{R}{A} + \frac{M_C}{W_{pc}} + \frac{\bar{M}_R}{W_{c \text{ sup}}}$$

$$\sigma_{c \text{ inf}} = -\frac{R}{A} + \frac{M_C}{W_{pc}} + \frac{\bar{M}_R}{W_{c \text{ inf}}}$$

(ove  $W_{pc}$  è il modulo resistente della sola sezione in calcestruzzo).

I valori delle tensioni sono raccolti nella tabella n. 4.

TABELLA 4

Sezione	$\sigma_{f \text{ sup}}$ (Kg/cm²)	$\sigma_{f \text{ inf}}$ (Kg/cm²)	$\sigma_{c \text{ sup}}$ (Kg/cm²)	$\sigma_{c \text{ inf}}$ (Kg/cm²)
II	-326,84	-311,62	+10,59	+16,62
III	-281,93	-509,50	+18,05	+20,67
IV	-280,45	-466,96	+25,00	+13,33
V	-273,50	-270,48	+20,92	+14,87
VI	-275,20	-201,09	+21,97	+12,79

$$+ E_f (\bar{\lambda}_{R \text{ tot}} + \bar{\mu}_{R \text{ tot}} y_{\text{sup}})$$

$$\sigma_{f \text{ inf}} = \frac{\bar{M}_R}{W_{f \text{ inf}}} +$$

$$+ E_f (\bar{\lambda}_{R \text{ tot}} + \bar{\mu}_{R \text{ tot}} y_{\text{inf}})$$

È quindi stata calcolata la risultante delle sollecitazioni indotte

2.2) Controllo del calcolo precedente.

2.2.1) CALCOLO COL METODO ESATTO DELLA TRAVATA A SEZ. COSTANTE.

La sezione della travata è stata assunta uguale alla sezione III (vedi paragrafo 1).

DIAGRAMMA DELLE TENSIONI AI LEMBI

Calcolo con "l'effective modulus"

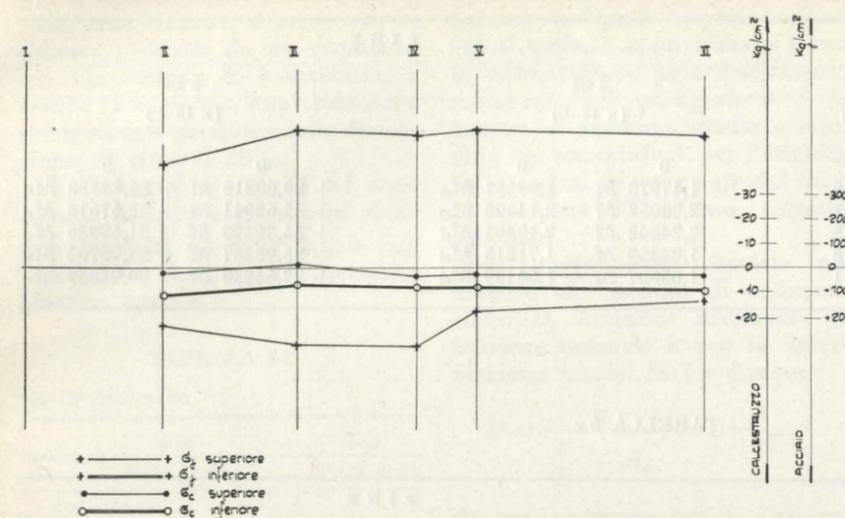


Fig. 5

Si sono calcolati con le caratteristiche di tale sezione i fattori che compaiono nel sistema (16) dell'articolo citato nell'introduzione, tenendo presente che in questo caso  $\bar{\mu}_A$  è la rotazione isostatica nella sezione III. Si sono quindi calcolati i valori delle deformazioni impresses e il momento  $\bar{M}_R$  ottenendo:

$$\bar{\lambda}_{\infty} = -1,61391 \times 10^{-4}$$

$$\bar{\mu}_{\infty} = +0,23639 \times 10^{-5}$$

$$\bar{M}_R = -518,63 \times 10^4 \text{ Kgcm}$$

2.2.2) CALCOLO COL METODO SEMPLIFICATO DELLA TRAVATA A SEZIONE COSTANTE.

Sulla stessa travata di cui al precedente paragrafo 2.2.1, sono stati calcolati i parametri della deformazione viscosa, il cui valore è quello risultante dalla tabella 2 per la sezione III. Si è quindi calcolato il momento  $\bar{M}_R$  mediante il teorema di Volterra applicando il coefficiente 1/2 alle rotazioni impresses prodotte dal momento medesimo.

Si è ottenuto:

$$\bar{M}_R = -512,66 \times 10^4 \text{ Kgcm}$$

Il calcolo dei parametri della deformazione viscosa, in base a tale valore del momento, ha fornito:

$$\bar{\lambda}_{\infty} = -1,48421 \times 10^{-4}$$

$$\bar{\mu}_{\infty} = +0,21137 \times 10^{-5}$$

Come si può osservare dal confronto dei risultati del presente paragrafo e del paragrafo 2.2.1, il valore del momento  $\bar{M}_R$  calcolato con il metodo semplificato, è risultato dall'1.15% inferiore a quello calcolato col metodo esatto.

TABELLA 5

Sezioni	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
I	+0,92982	-2,12639	-0,55828.10 <sup>-2</sup>	+0,73137
II	+0,92015	-2,93128	-0,42735.10 <sup>-2</sup>	+0,72888
III	+0,91077	-3,78707	-0,34434.10 <sup>-2</sup>	+0,72948
IV	+0,90903	-4,04843	-0,33925.10 <sup>-2</sup>	+0,73235
V	+0,89154	-5,33935	-0,29960.10 <sup>-2</sup>	+0,74542
VI	+0,88179	-6,17858	-0,28148.10 <sup>-2</sup>	+0,75476

3) Effetti del fluage sulle sollecitazioni indotte dai carichi fissi.

In questo caso il calcolo è stato eseguito assumendo, a favore della stabilità, le seguenti ipotesi:

— modulo elastico dell'acciaio  $E' = 2 \times 10^6$

— modulo elastico del calcestruzzo  $E = 3 \times 10^5$

— coefficiente di fluage  $\gamma = 2/300.000$

Calcolati i momenti flettenti elastici risultanti dal seguente prospetto:

sez.	$M$	Kgm
I	0,00	Kgm
II	-7840	Kgm
III	-31.120	Kgm

- IV  $M = +3200 \text{ Kgm}$
- V  $M = +16.310 \text{ Kgm}$
- VI  $M = +38.380 \text{ Kgm}$

e i relativi parametri della deformazione viscosa, si è ottenuto per il momento iperstatico:

$$\bar{M}_c = -380 \text{ Kgm}$$

È interessante rilevare che la correzione apportata al diagramma dei momenti dalla presa in conto dell'effetto iperstatico del fluage è molto modesta. Bisogna però aggiungere che tale risultato era difficilmente prevedibile a priori.

4) Effetti del fluage sul regime statico indotto dalla distorsione.

Il calcolo è stato condotto secondo il metodo esposto al paragrafo 2.3 dell'articolo citato nell'introduzione, e con gli stessi valori di  $E$ ,  $E'$  e  $\gamma$  del paragrafo precedente.

Nella tabella 5 sono raccolti i valori dei coefficienti  $K_i$  per ognuna delle sezioni.

Nelle tabelle 6 a-b-c-d-e sono raccolti i valori dei parametri della deformazione impressa e la variazione del momento flettente alla fine di ciascuno dei 5 intervalli in cui si suddivide la storia della struttura.

TABELLA 6 a

Sezione	FINE	
	$\bar{\lambda} 1/5$ ( $\times 10^{-13}$ )M	$\bar{\mu} 1/5$ ( $10^{-13}$ )M <sub>el</sub>
I	0	0
II	-1,47978	+29,60216
III	-2,30052	+35,62941
IV	-2,24848	+34,50595
V	-1,84459	+25,95457
VI	-1,65607	+22,64230

$$\Delta M_1 = -7,27 \times 10^{-2} M_{el}$$

TABELLA 6 b

Sezione	INIZIO		FINE	
	$\bar{\lambda} 1/5$	$\bar{\mu} 1/5$	$\bar{\lambda} 2/5$	$\bar{\mu} 2/5$
	$(\times 10^{-13})M_{el}$	$(\times 10^{-13})M_{el}$	$(\times 10^{-13})$	$(\times 10^{-13})$
I	0	0	0	0
II	-1,42581	+28,52346	-1,47978 M	+1,39557 M <sub>el</sub>
III	-2,21669	+34,33107	-2,30052 M	+2,14890 M <sub>el</sub>
IV	-2,16654	+33,24855	-2,24848 M	+2,10405 M <sub>el</sub>
V	-1,77737	+25,00878	-1,84459 M	+1,71813 M <sub>el</sub>
VI	-1,59572	+21,81721	-1,65607 M	+1,54189 M <sub>el</sub>

$$\Delta M_2 = -13,46 \times 10^{-2} M_{el}$$

TABELLA 6 c

Sezione	INIZIO		FINE	
	$\bar{\lambda} 2/5$	$\bar{\mu} 2/5$	$\bar{\lambda} 3/5$	$\bar{\mu} 3/5$
	$(\times 10^{-13})M_{el}$	$(\times 10^{-13})M_{el}$	$(\times 10^{-13})$	$(\times 10^{-13})$
I	0	0	0	0
II	-2,72187	+53,41520	-1,47978 M	-2,66110 M <sub>el</sub>
III	-4,21081	+64,61071	-2,30052 M	-4,07976 M <sub>el</sub>
IV	-4,11932	+62,62655	-2,24848 M	-3,99812 M <sub>el</sub>
V	-3,37140	+47,22960	-1,84459 M	-3,25791 M <sub>el</sub>
VI	-3,02419	+41,25223	-1,65607 M	-2,92158 M <sub>el</sub>

$$\Delta M_3 = -19,18 \times 10^{-2} M_{el}$$

TABELLA 6 d

Sezione	INIZIO		FINE	
	$\bar{\lambda} 3/5$	$\bar{\mu} 3/5$	$\bar{\lambda} 4/5$	$\bar{\mu} 4/5$
	$(\times 10^{-13})M_{el}$	$(\times 10^{-13})M_{el}$	$(\times 10^{-13})$	$(\times 10^{-13})$
I	0	0	0	0
II	-3,85707	+74,48994	-1,47978 M	-3,76743 M <sub>el</sub>
III	-5,93906	+90,42776	-2,30052 M	-5,75158 M <sub>el</sub>
IV	-5,81536	+87,72739	-2,24848 M	-5,64150 M <sub>el</sub>
V	-4,74873	+66,28334	-1,84459 M	-4,58759 M <sub>el</sub>
VI	-4,26003	+57,94775	-1,65607 M	-4,11448 M <sub>el</sub>

$$\Delta M_4 = -23,64 \times 10^{-2} M_{el}$$

TABELLA 6 e

Sezione	INIZIO		FINE	
	$\bar{\lambda} 4/5$	$\bar{\mu} 4/5$	$\bar{\lambda} 5/5$	$\bar{\mu} 5/5$
	$(\times 10^{-13})M_{el}$	$(\times 10^{-13})M_{el}$	$(\times 10^{-13})$	$(\times 10^{-13})$
I	0	0	0	0
II	-4,86446	+92,72268	-1,47978 M	-4,74782 M <sub>el</sub>
III	-7,45705	+112,82931	-2,30052 M	-7,21895 M <sub>el</sub>
IV	-7,30839	+109,55640	-2,24848 M	-7,08708 M <sub>el</sub>
V	-5,95506	+82,87728	-1,84459 M	-5,75168 M <sub>el</sub>
VI	-5,34219	+72,51341	-1,65607 M	-5,15879 M <sub>el</sub>

$$\Delta M_5 = -27,76 \times 10^{-2} M_{el}$$

Come era prevedibile, gli incrementi di  $\Delta M_i$  nei successivi intervalli sono risultati decrescenti, in quanto prodotti da un momento via via minore. Si è ottenuta, a tempo  $t = +\infty$ , una riduzione del momento prodotto dalla distorsione di circa il 28%.

Nella seguente tabella 6 f sono ancora raccolti i parametri delle deformazioni impresse  $\bar{\lambda}_{5/5}$  e  $\bar{\mu}_{5/5}$  espressi in funzione del momento elastico iniziale.

TABELLA 6 f

Sezione	fine 5° intervallo	
	$\bar{\lambda} 5/5$	$\bar{\mu} 5/5$
	$M_{el} (\times 10^{-13})$	$M_{el} (\times 10^{-13})$
I	0	0
II	-5,81681	+109,75654
III	-8,88085	+133,72302
IV	-8,71138	+129,95444
V	-7,08421	+98,36932
VI	-6,35513	+86,12422

5) Calcolo degli effetti del fluage sul regime statico indotto dal ritiro e dalla distorsione, mediante il metodo della "variazione del modulo elastico" (\*).

Il metodo analitico precedentemente svolto, è evidentemente assai laborioso. Molto spesso i progettisti semplificano in modo radicale la trattazione degli effetti del fluage, assimilandone l'effetto a quello di una variazione del modulo elastico (procedimento che evidentemente è esatto solo quando la sollecitazione in ogni punto della struttura rimanga costante nel tempo). Al fine di poter con-

(\*) In inglese « effective modulus » ed in italiano « modulo di deformazione ».

frontare i risultati dei due procedimenti, si è redatto il presente capitolo, nel quale vengono trattati con il metodo approssimato i casi di sollecitazione precedentemente esaminati nei paragrafi 2 e 4, mentre si trascura quello esaminato nel paragrafo 3, per l'esiguità delle variazioni apportate dal fluage in quest'ultimo caso, rispetto agli altri.

Il procedimento consiste nel definire un modulo di deformazione  $D$ , ottenuto dividendo la tensione normale  $\sigma$  per la deformazione totale. Si ha dunque

$$D = \frac{\sigma}{\frac{\sigma}{E} + \sigma \bar{\epsilon}_0} = \frac{E}{1 + E \bar{\epsilon}_0}$$

da cui, ammessa per  $\bar{\epsilon}_0$  l'espressione (2) (\*\*), si ricava a tempo  $t = \infty$ :

$$D = \frac{E}{1 + E \gamma}$$

5.1) Effetti del fluage sul regime statico indotto dal ritiro.

Il calcolo è stato eseguito adottando le seguenti ipotesi, analogamente a quanto al paragrafo 2:

- modulo elastico dell'acciaio  $E' = 2 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$
- modulo elastico del cls. ( $t=0$ )  $E = 3 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$
- coefficiente di fluage  $\gamma = 1/300.000$
- coefficiente di ritiro  $\alpha = 0,25\%$

Il modulo di deformazione a tempo  $t = \infty$  risulta pertanto:

$$D = \frac{E}{1 + E \gamma} = E/2$$

(\*\*) Articolo citato nell'introduzione.

con un conseguente rapporto dei moduli elastici  $m = 14$ .

Nella tabella 7 sono raccolte le caratteristiche delle sezioni calcolate con il suddetto valore del rapporto dei moduli.

Il calcolo viene ora condotto procedendo nello stesso modo in cui si calcolano gli effetti del ritiro in un corpo elastico.

Poichè l'area del calcestruzzo è:

$$\bar{A} = 4500 \text{ cm}^2$$

lo sforzo di ritiro è

$$N_R = \alpha \cdot D \cdot \bar{A} = 169.000 \text{ Kg}$$

ed i valori dei momenti di ritiro nella struttura isostatica sono raccolti nel seguente prospetto:

sez.	Momento di ritiro (Kg m)
I	+22.600
II	+32.100
III	+42.800
IV	+43.300
V	+67.500
VI	+72.500

Quindi in applicazione del teorema di Mohr, si è determinato l'innalzamento degli estremi della travata rispetto agli appoggi intermedi, che risulta:

$$\delta = 4,083 \text{ cm}$$

Poichè si è determinato, sempre in applicazione del teorema di Mohr che il momento nella campata centrale corrispondente allo spostamento verticale di 1 cm dell'estremità della trave è:

$$M^{(1)} = 14.150 \text{ Kg m}$$

ne risulta, nel caso in esame, un momento

$$\bar{M}_R = -57.800 \text{ Kg m}$$

TABELLA 7

Caratteristiche geometriche delle sezioni ( $m = 14$ )

Sezione	Area acciaio	Area totale	Distanza dal bordo inf. del baricentro sezione ferro	Innalzam. baricentro totale su baricentro ferro	$J_x$	$W_{sup}$	$W_{inf}$	$W_{sup}$	$W_{inf}$
	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
I	162,0	484,0	27,0	26,9	262.600	-655.000	+4.860	-165.000	-834.000
II	192,0	514,0	37,8	32,0	507.600	-84.200	+7.250	-253.800	-712.000
III	222,0	544,0	48,6	36,3	814.200	-65.500	+9.600	-331.000	-695.000
IV	229,0	551,0	53,4	36,2	865.700	-68.200	+9.650	-350.000	-725.000
V	307,0	629,0	40,0	39,6	1.465.900	-59.000	+18.500	-430.000	-710.000
VI	340,0	662,0	38,8	40,5	1.762.700	-59.000	+22.300	-476.000	-730.000

Nella tabella 8 sono raccolti i valori del momento totale nella struttura iperstatica e le conseguenti sollecitazioni:

TABELLA 8

Sezione	Momento totale Kgm	$\sigma_{f\text{sup}}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{f\text{inf}}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{c\text{sup}}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{c\text{inf}}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
II	+ 3.200	- 332,00	- 286,30	+ 12,74	+ 13,73
III	- 15.000	- 287,50	- 466,65	+ 17,40	+ 16,50
IV	- 14.500	- 284,35	- 455,57	+ 19,75	+ 17,12
V	+ 9.700	- 294,42	- 218,80	+ 15,90	+ 16,98
VI	+ 14.700	- 280,74	- 189,70	+ 16,30	+ 17,61

5.2) Effetti del fluage sul regime statico indotto dalla distorsione.

Il calcolo, come già nel precedente paragrafo 4, viene svolto con le seguenti ipotesi:

— modulo elastico dell'acciaio  $E' = 2 \times 10^6$  Kg/cm<sup>2</sup>

— modulo elastico del cls. ( $t=0$ )  $E = 3 \times 10^5$  Kg/cm<sup>2</sup>

— coefficiente di fluage

$$\gamma = \frac{2}{300.000}$$

Il modulo di deformazione a tempo  $t = \infty$  risulta:

$$D = \frac{E}{1 + E\gamma} = \frac{E}{3}$$

ed il rapporto dei moduli elastici è perciò  $m = 21$ .

Nella tabella 9 sono raccolte le caratteristiche delle sezioni calcolate per tale valore del rapporto dei moduli.

Mediante le caratteristiche riportate nella tabella 1 e in appli-

cazione del teorema di Mohr, si è calcolato il momento prodotto nella campata centrale, da uno spostamento verticale unitario del-

l'estremità della trave, ottenendo:

$$M_{el} = - 18700 \text{ Kgm}$$

In modo perfettamente analogo si è calcolato il momento corrispondente nel caso di un rapporto dei moduli pari a 21, ossia con le caratteristiche di tabella 9, ottenendo un momento

$$M_{\infty} = - 12600 \text{ Kgm}$$

con una riduzione percentuale rispetto al momento iniziale del 32,6%.

6) Conclusione.

Il confronto di cui si è detto nel paragrafo precedente, tra i risultati del metodo analitico — che è una applicazione della teoria delle coazioni — e del metodo della variazione del modulo elastico, è riassunto nella tabella 10 che raccoglie le sollecitazioni calcolate con l'uno e con l'altro procedimento.

Come si è detto nel paragrafo precedente, si sono prese in considerazione solo le sollecitazioni causate dal ritiro e dalla distorsione. L'entità di questa è stata

scelta in modo da annullare, a  $t = \infty$ , la trazione prodotta dal ritiro, calcolata con il metodo analitico, al lembo superiore della sez. III. Questa stessa distorsione è stata poi considerata anche nel calcolo condotto col modulo di deformazione.

In base ai risultati di paragrafo 4, la sollecitazione prodotta dalla distorsione sul bordo della sezione III, risulta, espressa in funzione del momento a  $t = 0$ , ossia di  $M_{el}$ :

$$\sigma_{c\text{sup}} = - 1,8047 \cdot 10^{-6} M_{el} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

mentre la sollecitazione prodotta dal ritiro è (tab. 4):

$$\sigma_{c\text{sup}} = + 18,05 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

In conformità con il criterio precedentemente enunciato, noi immagineremo pertanto d'introdurre, mediante distorsione, un momento:

$$M_{el} = \frac{18,05}{1,8047 \times 10^{-6}} = 10.001.660 \text{ (Kg} \cdot \text{cm)}$$

Col metodo analitico, tale momento iniziale subirà per  $t = + \infty$  una riduzione del 27,76% e assumerà pertanto il valore finale  $M_f^{(1)} = 7.224.100$  (Kgcm).

Col metodo del modulo di deformazione, la riduzione è del 32,6% e quindi a  $t = + \infty$  il momento dato dalla distorsione varrà:

$$M_f^{(2)} = 6.741.119 \text{ (Kg} \cdot \text{cm)}$$

Il calcolo delle sollecitazioni in fase finale, è stato eseguito adottando tali due valori della sollecitazione, procedendo col metodo analitico come nel paragrafo 2, col metodo del modulo di deformazione, con le caratteristiche delle sezioni di cui alla tabella 9.

TABELLA 9

Caratteristiche geometriche delle sezioni ( $m = 21$ )

Sezione	Area acciaio cm <sup>2</sup>	Area totale cm <sup>2</sup>	Distanza dal bordo inf. del baricentro sezione ferro cm	Innalzamento del baricentro totale sul baricentro ferro cm	$J_x$ cm <sup>4</sup>	$W_{f\text{sup}}$ cm <sup>3</sup>	$W_{f\text{inf}}$ cm <sup>3</sup>	$W_{c\text{sup}}$ cm <sup>3</sup>	$W_{c\text{inf}}$ cm <sup>3</sup>
I	162,0	376,0	27,0	22,9	220.300	- 502.000	+ 4.450	- 190.000	- 725.000
II	192,0	406,0	37,8	26,9	454.190	- 410.000	+ 7.000	- 286.000	- 632.000
III	222,0	436,0	48,6	30,0	726.290	- 38.600	+ 9.200	- 374.000	- 672.000
IV	229,0	443,0	53,4	30,0	773.700	- 40.900	+ 9.270	- 398.000	- 710.000
V	307,0	521,0	40,0	31,7	1.289.000	- 39.200	+ 17.900	- 492.000	- 734.000
VI	340,0	554,0	38,8	32,8	1.525.800	- 40.700	+ 21.300	- 540.000	- 770.000

TABELLA 10

Sezione	Causa della sollecitazione	TEORIA DELLE COAZIONI							
		fase iniziale ( $t = 0$ )				fase finale ( $t = \infty$ )			
		$\sigma_{f\text{sup}}$	$\sigma_{f\text{inf}}$	$\sigma_{c\text{sup}}$	$\sigma_{c\text{inf}}$	$\sigma_{f\text{sup}}$	$\sigma_{f\text{inf}}$	$\sigma_{c\text{sup}}$	$\sigma_{c\text{inf}}$
II	ritiro	—	—	—	—	- 326,84	- 311,62	+ 10,59	+ 16,62
	distorsione	+ 11,35	+ 673,24	- 25,85	- 3,37	- 97,34	+ 539,25	- 24,56	+ 6,96
	totale	+ 11,35	+ 673,24	- 25,85	- 3,37	- 424,18	+ 227,63	- 13,97	+ 23,58
III	ritiro	—	—	—	—	- 281,93	- 509,54	+ 18,05	+ 20,67
	distorsione	- 28,35	+ 994,60	- 37,15	- 10,05	- 205,37	+ 793,79	- 18,05	- 10,76
	totale	- 28,35	+ 994,60	+ 37,15	- 10,05	- 487,30	+ 284,25	0,00	+ 9,91
IV	ritiro	—	—	—	—	- 280,45	- 466,96	+ 25,00	+ 13,33
	distorsione	- 37,58	+ 944,89	- 35,55	- 10,78	- 211,57	+ 763,76	- 16,10	- 12,05
	totale	- 37,58	+ 944,89	- 35,55	- 10,78	- 492,02	+ 296,80	+ 8,90	+ 1,28
V	ritiro	—	—	—	—	- 273,54	- 270,48	+ 20,92	+ 14,87
	distorsione	- 66,10	+ 558,32	- 28,20	- 12,86	- 211,33	+ 445,37	- 11,28	- 13,29
	totale	- 66,10	+ 558,32	- 28,20	- 12,86	- 484,87	+ 174,89	+ 9,64	+ 1,58
VI	ritiro	—	—	—	—	- 275,21	- 201,09	+ 21,97	+ 12,79
	distorsione	- 75,00	+ 431,18	- 25,25	- 13,36	- 199,17	+ 344,55	- 9,57	- 13,26
	totale	- 75,00	+ 431,18	- 25,25	- 13,36	- 474,38	+ 143,46	+ 12,40	- 0,47

Sezione	Causa della sollecitazione	EFFECTIVE MODULUS							
		fase iniziale ( $t = 0$ )				fase finale ( $t = \infty$ )			
		$\sigma_{f\text{sup}}$	$\sigma_{f\text{inf}}$	$\sigma_{c\text{sup}}$	$\sigma_{c\text{inf}}$	$\sigma_{f\text{sup}}$	$\sigma_{f\text{inf}}$	$\sigma_{c\text{sup}}$	$\sigma_{c\text{inf}}$
II	ritiro	—	—	—	—	- 332,00	- 286,30	+ 12,74	+ 13,73
	distorsione	+ 11,35	+ 673,24	- 25,85	- 3,37	- 16,45	+ 481,51	- 11,78	- 5,33
	totale	+ 11,35	+ 673,24	- 25,85	- 3,37	- 348,45	+ 195,21	+ 0,96	+ 8,40
III	ritiro	—	—	—	—	- 287,50	- 466,65	+ 17,40	+ 16,50
	distorsione	- 28,35	+ 994,60	- 37,15	- 10,05	- 174,64	+ 732,73	- 18,02	- 10,05
	totale	- 28,35	+ 994,60	- 37,15	- 10,05	- 462,14	+ 266,08	- 0,62	+ 6,45
IV	ritiro	—	—	—	—	- 284,35	- 455,57	+ 19,75	+ 17,12
	distorsione	- 37,58	+ 944,89	- 35,55	- 10,78	- 164,82	+ 727,20	- 16,93	- 9,50
	totale	- 37,58	+ 944,89	- 35,55	- 10,78	- 449,17	+ 271,63	+ 2,82	+ 7,62
V	ritiro	—	—	—	—	- 294,42	- 218,80	+ 15,90	+ 16,98
	distorsione	- 66,10	+ 558,32	- 28,20	- 12,86	- 171,97	+ 376,60	- 13,71	- 9,20
	totale	- 66,10	+ 558,32	- 28,20	- 12,86	- 466,39	+ 157,80	+ 2,19	+ 7,78
VI	ritiro	—	—	—	—	- 280,74	- 189,70	+ 16,30	+ 17,61
	distorsione	- 75,00	+ 431,18	- 25,25	- 13,36	- 165,63	+ 316,48	- 12,48	- 8,76
	totale	- 75,00	+ 431,18	- 25,25	- 13,36	- 446,37	+ 126,78	+ 3,82	+ 8,85

Dal confronto fra i dati contenuti nei due prospetti della tabella 10, si rileva quanto segue:

— Nell'acciaio, le tensioni calcolate con il metodo della variazione del modulo, risultano ovunque sottovalutate. Le tensioni ottenute col metodo analitico superano quelle date dal metodo dell'« effective modulus », con percentuali che raggiungono il 22%. — Nel calcestruzzo l'andamento

delle differenze tra le tensioni calcolate con il metodo analitico e quelle calcolate con la variazione del modulo è molto irregolare. Si nota tuttavia che il metodo dell'« effective modulus » sottovaluta in genere le tensioni al lembo superiore e sopravvaluta quelle al lembo inferiore. Le differenze sono molto sensibili, ne risulta pertanto che il metodo della variazione del modulo non riesce in questo caso

a formare una immagine attendibile del regime statico nel calcestruzzo.

P. Antonino e R. Martellotta

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

LEVI-PIZZETTI, *Fluage-Plasticité - Précontrainte*, ed. Dunod, Parigi, 1951.

ANTONINO-MARTELOTTO, *Equilibrio elastico-viscoso di travi miste iperstatiche*, « Atti e Rassegna Tecnica », n. 4 del mese di Aprile 1962 Torino.

# Il calcolo pratico degli elementi geometrici della teleferica

RENATO GRIGNOLIO espone alcune pratiche avvertenze attuate nella determinazione con metodo grafico di confronto della configurazione di equilibrio di una fune portante.

Per la pratica determinazione della curva di equilibrio di una fune tesa tra due punti fissi, secondo gran parte dei trattati, è generalmente suggerito il metodo di calcolo approssimato che sostituisce l'equazione della parabola a quella della catenaria, considerando cioè il carico permanente come uniformemente distribuito lungo la corda anziché lungo la curva funicolare; il che offre sviluppi analitici certo del tutto elementari ma risultato pratico non del tutto soddisfacente.

Agli inizi di un notevole programma di impianti si dovette constatare, con grave disappunto, che un profilo accuratamente rilevato nella stagione precedente ed attentamente progettato nel periodo invernale presentava anomalie tali da rendere indispensabili sensibili rettifiche ai materiali già approntati per il montaggio. Infatti la sempre opportuna verifica con cavo pilota mise in luce l'intersezione col terreno, in una grande campata, delle funi sotto carico là dove risultava un franco modesto ma sufficiente e dove un sostegno a reazione sempre positiva avrebbe richiesto eccessiva altezza. Fu necessario provvedere con sostegno a doppia azione (cavalietto di pressione) onde non ritardare il compimento del lavoro. Nè si trattava di errore ma soltanto di non sufficiente approssimazione fornita dal sistema di calcolo adottato.

Un calcolo pienamente attendibile, ed esatto nei limiti che il problema consente, non può essere effettuato che valendosi delle esatte equazioni. È peraltro vero che la equazione trascendentale della catenaria osta gravemente alla sua applicazione analitica.

Ove fosse il caso di una sola campata sarebbe facile prefissare non la tensione della fune ma la componente orizzontale di detta; con che sarebbe noto, della prevista catenaria, il parametro e resa molto semplice la determina-

zione analitica della stessa (1). Ma in ogni caso ciò non avverrebbe più per le campate successive in cui precisamente il parametro e conseguentemente l'ascissa del vertice della catenaria costituiscono le incognite che occorre calcolare.

È opportuno premettere che in tutti i calcoli, tranne che in quello definitivo di verifica, conviene considerare unitario il peso  $p$  della fune ed adeguare le tensioni al tipo di fune adottato avente sezione utile corrispondente al peso unitario. La non del tutto esatta proporzionalità tra sezione utile e peso, dovuta alla inclinazione dei fili e ad altre cause, non è tale da imporre variazioni all'atto del calcolo finale di verifica che viene eseguito con i dati reali. In tal modo, per elementari proprietà della catenaria, la tensione in ciascun punto della fune risulta numericamente eguale alla quota  $y$  sull'asse delle ascisse del punto che si considera; naturalmente occorrendo usare per  $T$ ;  $p$ ;  $y$  le stesse unità di misura (in pratica Kg; Kg/m; m rispettivamente). Diversamente tale tensione per fune pesante  $p$  Kg/m si otterrebbe dalla

$$T \text{ (Kg)} = p \text{ (Kg/m)} \cdot y \text{ (m)} \quad (1)$$

Il problema della catenaria. —

È pertanto (fig. 1) il problema fondamentale risulta così definito: una fune flessibile ed inestensibile mantenuta tesa in  $P_1$  con tensione nota  $T_1$  deve altresì passare per  $P_2 = P_1 + l \mathbf{i} + d \mathbf{j}$ . Tra le

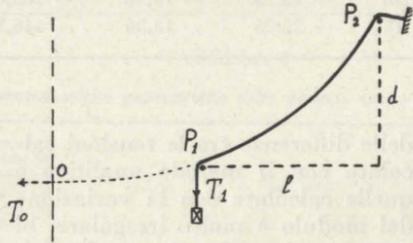


Fig. 1

bile mantenuta tesa in  $P_1$  con tensione nota  $T_1$  deve altresì passare per  $P_2 = P_1 + l \mathbf{i} + d \mathbf{j}$ . Tra le

(1) Un esempio si trova in CORINI, Scienza e tecnica delle costruzioni stradali, ecc.

infinite catenarie passanti per  $P_1$  ed aventi in  $P_1$  tensione  $T_1$  occorre determinare il parametro dell'unica catenaria che passa anche per  $P_2$ .

L'asse delle ascisse nel diagramma cartesiano della catenaria cercata è noto essendo nota  $T_1$ ; l'ordinata  $y_1$  di  $P_1$  risulta infatti:

$$y_1 = T_1 \frac{\text{Kg}}{1 \text{ Kg/m}} \text{ ed in modo analogo}$$

$y_2 = y_1 + d = T_2$  (sempre numericamente, per la (1), come talvolta sarà sottinteso).

In fig. 2, scelto come asse delle ordinate l'asse di simmetria della

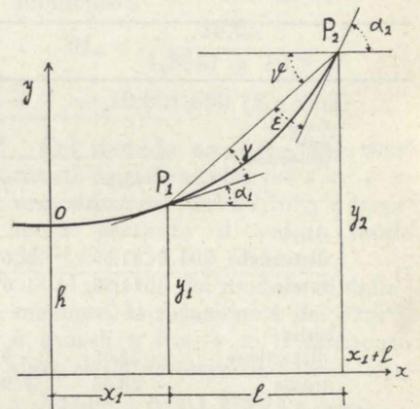


Fig. 2

curva (passante per il vertice e direzione assintotica della curva) e posto l'asse delle ascisse al di sotto di  $P_1$  di tanto quanto vale  $y_1$ , risultano incognite l'ascissa  $x_1$  di  $P_1$  e l'ordinata  $h$  del vertice.

Sempre per la (1) l'ordinata  $h$  del vertice rappresenta numericamente la componente orizzontale della tensione della fune di peso unitario; componente costante per tutta la campata che si considera ed anzi costante in tutta la campata che risulterebbe (supposta eliminata la reazione di  $P_1$ ) tra  $P_2$  ed il punto

$$O = P_2 - \left( d + T_1 \frac{\text{Kg}}{1 \text{ Kg/m}} \right) \mathbf{j} - (l + x_1) \mathbf{i} + h \mathbf{j}$$

vertice della catenaria.

Dalla stessa campata ideale  $O-P_2$  appare anche chiaro che la componente verticale di  $T$  in  $P_2$

(ed in generale in qualsiasi punto  $P$  della stessa) è eguale al peso proprio dell'arco di fune compreso tra  $O$  ed il punto  $P_2$  (ed in generale al peso dell'arco di fune compreso tra  $O$  ed il punto generico  $P$ ):

$$(T_p)_v = p \cdot \int_0^p s \quad (2)$$

essendo  $s$  la lunghezza del tratto di fune tra i punti considerati.

Se ora nuovamente in  $P_1$  si sostituisce, all'azione esercitata in detto punto dall'arco di fune compreso tra il vertice ed il punto stesso, la forza  $T_1$  che la equivale, la proprietà continua a valere in tutti i punti della campata in esame; sì che in sostanza si hanno le semplicissime e ben note relazioni fondamentali che rendono altamente spediti i successivi sviluppi analitici:

$$T = y \text{ (m)} \cdot (\text{Kg/m}); T_v = s \text{ (m)} \cdot (\text{Kg/m}); T_0 = h \text{ (m)} \cdot (\text{Kg/m}) \quad (3)$$

e valutate le componenti di  $T$  in base ad elementari funzioni circolari degli elementi geometrici della curva fig. 2 si deduce ovviamente:

$$\cos \alpha = h/y; \quad \text{sen } \alpha = s/y; \quad \text{tg } \alpha = s/h \quad (4)$$

L'equazione della catenaria.

La determinazione delle due incognite  $h$  ed  $x_1$  richiederebbe la risoluzione del sistema:

$$\begin{cases} y_1 = h \text{ cosip } x_1/h \\ y_2 = h \text{ cosip } (x_1 + l)/h \end{cases} \quad (5)$$

e ciò significa la pratica impossibilità di ulteriori sviluppi analitici secondo le equazioni esatte. L'equazione fondamentale può essere messa nella forma:

$$x = h \ln [(y/h) \pm \sqrt{(y/h)^2 - 1}] \quad (5')$$

ma non migliorano le possibilità di pratica risoluzione. Lo sviluppo in serie della

$$y = \frac{h}{2} (e^{x/h} + e^{-x/h}) \quad (5'')$$

darebbe:

$$y = h + \frac{x^2}{2! h} + \frac{x^4}{4! h^3} + \frac{x^6}{6! h^5} + \dots \quad (5''')$$

ma arrestando lo sviluppo al termine di 2° grado si ricade nella equazione della parabola (che appunto da questo fatto trae la sua giustificazione nella sostituzione alla catenaria); estendendolo ai termini di grado superiore le dif-

ficoltà di pratica trattazione analitica del sistema risultante crescono oltremodo.

Sotto particolari condizioni parvero suscettibili di trattazione approssimata le equazioni parametriche della curva che sono:

$$\begin{cases} x = h \ln \text{tg } \frac{\alpha + \frac{\pi}{2}}{2} = \\ = \frac{h}{2} \ln \frac{1 + \text{sen } \alpha}{1 - \text{sen } \alpha} \\ y = \frac{h}{\cos \alpha} \end{cases} \quad (5''')$$

$\alpha$  essendo l'angolo che la tangente nel punto generico  $P$  forma con l'asse delle ascisse. Ma le difficoltà incontrate anche in questo caso scongiurarono ogni pratico sviluppo.

Si osserva che fermi restando  $P_1$ ;  $y_1$ ;  $l$  (fig. 2) ed essendo

$$P_2 = P_1 + l \mathbf{i} + (y - y_1) \mathbf{j}$$

al variare di  $y$  al di sopra di un determinato valore  $y_0$  (al di sotto del quale l'ascissa  $x_1$  di  $P_1$  diverrebbe negativa; e diverrebbe eguale a  $-[l/2]$  per  $y = y_1$ ) l'ascissa  $x_1$  varia da zero ad un massimo per nuovamente tendere a zero; cioè variando  $y$  nell'intervallo  $y_0 - \infty$  si ha:

$$\begin{cases} \lim_{y \rightarrow y_0} [x_1 = f(y_1; l; y)] = 0 \\ \lim_{y \rightarrow \infty} [x_1 = f(y_1; l; y)] = 0 \end{cases}$$

(sviluppi altrettanto interessanti fornirebbe parallelamente l'esame del limite  $x_1$  per valori di  $y$  decrescenti al di sotto di  $y_1$ ; nel qual caso ovviamente non ha senso far tendere  $y$  a zero, essendo di valore non nullo la grandezza  $l$ ; anche dalla (5') si vede che al di sotto di un dato valore  $y_x$  inferiore al corrispondente valore  $h_x$  la curva diviene immaginaria).

Nello stesso intervallo  $y_0 - \infty$ ,  $h$  varia da  $y_1$  a zero. La determinazione, analiticamente molto laboriosa, del valore  $x_1$  max che dipende solo da  $y_1$  ed  $l$ , e dei corrispondenti valori  $y$  ed  $h$  poteva facilitare la ricerca di soluzioni approssimate del problema fondamentale già esposto; ma la complessità delle espressioni analitiche non permise neppure per questa via soluzioni praticamente accettabili.

Altri procedimenti analitici molto più semplici offrirono una rapida determinazione, in base ai

dati disponibili in fig. 1, del parametro  $h$  ma con errore dallo 0,1 al 2%. Il limite superiore di tale errore, se pure si verifica soltanto su grandi campate poco inclinate, risulta eccessivo essendo molto desiderabile in tutto il progetto di un impianto che l'errore sia dell'ordine dello 0,5‰ nelle altezze e poco superiore nelle distanze orizzontali. Per tale ragione ho sempre fatto eseguire i profili del terreno almeno una volta in ciascuno dei due sensi con metodo celerimetrico (tachometro) ed in più una triangolazione esterna di controllo (teodolite) appoggiata agli elementi geodetici utilizzabili nella zona.

Con i procedimenti accennati di determinazione approssimata del parametro il metodo per successive approssimazioni è sempre possibile; ma nettamente laborioso.

Quanto pur molto sommariamente esposto mette in rilievo come l'equazione della catenaria abbia tenacemente resistito a tutti gli sforzi per renderla di pratica applicabilità. E tuttavia la risoluzione del sistema (5) sarebbe di eminente interesse in quanto in seguito il calcolo procederebbe in modo molto semplice e spedito, come si vede dai succinti cenni che seguono.

Fune scarica.

Come già ricordato, noto il parametro  $h$  si ricavano immediatamente gli angoli agli appoggi cioè gli angoli che le tangenti alla catenaria fanno con la orizzontale (fig. 2):

$$\alpha_1 = \text{arc cos } h/y_1; \quad \alpha_2 = \text{arc cos } h/y_2 \quad (4')$$

e gli angoli tra le suddette tangenti e la corda:

$$\gamma = \vartheta - \alpha_1; \quad \varepsilon = \alpha_2 - \vartheta \quad (4'')$$

Si ricava altresì lo sviluppo  $s_0$  del tratto di fune tra  $P_1$  e  $P_2$ :

$$s_0 = h (\text{tg } \alpha_2 - \text{tg } \alpha_1) \quad (4''')$$

Pur potendolo fare anche per altra via si ricavano le componenti verticali di  $T_1$  e  $T_2$  che valgono:

$$(T_1)_v = s_1 \cdot \text{Kg/m} = h \text{ tg } \alpha_1;$$

$$(T_2)_v = s_2 \cdot \text{Kg/m} = h \text{ tg } \alpha_2 \quad (3')$$

già essendo nota la componente orizzontale:

$$(T_1)_0 = (T_2)_0 = h \cdot \text{Kg/m} \quad (3'')$$

Per la campata successiva il procedimento viene esattamente ripetuto.

Essendo  $n$  il numero di ordine della campata è già noto che, prescindendo dalle forze di attrito, si ha:  $(T_1)_n = (T_2)_{n-1}$ . Si può anzi osservare che, predeterminata una serie di punti per cui la fune debba passare e tranne impossibilità fisica che potrebbe facilmente verificarsi per qualche appoggio in un profilo concavo con sostegni a reazione sempre positiva, le tensioni totali in corrispondenza dei vari appoggi risultano tutte preventivamente note. Non solo ma, pur essendo diverso, per ogni campata compresa tra due appoggi aventi reazione non nulla e non verticale, il parametro della catenaria, tutte le catenarie della stessa fune nella ipotesi fatta e perfettamente ragionevole per fune a riposo avranno in comune l'asse delle ascisse. Ciò scaturisce immediatamente tenendo presente la (1) e ripetendo per tutte le campate l'osservazione con cui inizia questo capoverso.

In altre parole la tensione totale in qualsiasi punto fisso di appoggio senza attrito ed in particolare nel punto più alto sarà eguale alla tensione a valle accresciuta del dislivello tra i punti in esame; dislivello che sarà moltiplicato per il peso della fune ove questa non sia supposta di peso unitario.

Nelle precedenti considerazioni si è partiti dal basso perchè in generale il contrappeso degli impianti equilibrati si trova alla stazione inferiore. Nulla ostava, come può essere suggerito da altre ragioni, ad iniziare identicamente da monte l'esame della configurazione di equilibrio della fune; esame che del resto per quanto detto potrebbe essere iniziato in qualsiasi campata intermedia.

Se si aggiunge che con l'aiuto di una tabella delle funzioni iperboliche quale reperibile su molti manuali è immediato il tracciamento di ciascuna catenaria (ne è anche facile il tracciamento grafico come luogo dei punti medi delle corrispondenti ordinate delle due curve esponenziali di equazione  $y = h e^{x/h}$  ed  $y = h e^{-(x/h)}$  di ovvia costruzione) e se si prescinde per ora dall'ostacolo rappresentato dalla risoluzione del sistema (5) si è realizzato a questo punto, in modo estremamente elementare, lo studio della configura-

zione di equilibrio di una fune scarica di teleferica.

Sia chiaro però che ciò è ben lontano dal rappresentare tutto il problema del progetto di un impianto di trasporto su fune, problema che ben altra complessità presenta sotto altri aspetti, anche se essenziale è la sicura determinazione delle traiettorie geometriche dei cavi.

#### Fune carica.

La determinazione delle deformazioni sotto carico della catenaria non offre difficoltà alcuna. Sorgerebbero ardui problemi nel caso di impianti a fune ancorata; ma il carattere sommario di questi permette approssimazioni di calcolo di tipo empirico e sperimentale; tra l'altro si abbandona in questo caso il concetto di fune inestensibile e si tiene anzi conto di un relativamente basso modulo di elasticità variabile per di più col carico; ma la scarsa importanza che presenta l'impianto ancorato ne sconsiglia un esame approfondito in una questione di carattere generale. Nel caso di impianto equilibrato qualche difficoltà sorge soltanto a causa degli attriti di scorrimento della fune sugli appoggi in assenza dei quali qualsiasi deformazione in una campata è priva di effetto sulla configurazione di equilibrio di tutte le altre ed influisce soltanto sulle reazioni di appoggio dei due sostegni che la comprendono; delle quali reazioni provoca una contemporanea variazione di direzione e di modulo. Nei riguardi degli attriti qualche considerazione sarà svolta più avanti.

Per l'esame di una campata sotto carico osserviamo anzitutto (fig. 3): considerate nella cam-

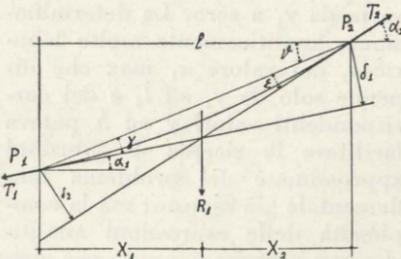


Fig. 3

pata scarica le tre forze:  $T_1 = y_1$ ;  $T_2 = y_2$ ;  $R_1$  verticale passante per il baricentro ed avente modulo

$R_1 = s_0$  (cioè lunghezza della fune di peso unitario tra  $P_1$  e  $P_2$ ) per l'equilibrio (fune irrigidita, ipotesi lecita, nella sua posizione di riposo) occorre sia:

$$y_1 \cdot \delta_1 = R_1 \cdot X_2 = M_2 \quad (6)$$

essendo  $M_2$  il momento statico della fune rispetto a  $P_2$ ; ed analogamente:

$$y_2 \cdot \delta_2 = R_1 \cdot X_1 = M_1 \quad (6')$$

In queste:

$$\delta_1 = C \sin \gamma; \quad \delta_2 = C \sin \varepsilon \quad (7)$$

ed essendo già supposto noti  $\sin \gamma$  e  $\sin \varepsilon$  che per le (4'') e (4') valgono:

$$\begin{aligned} \sin \gamma &= \sin(\vartheta - \arccos h/y_1) \\ \sin \varepsilon &= \sin(\arccos h/y_2 - \vartheta) \end{aligned} \quad (4''''')$$

possiamo scrivere:

$$\begin{aligned} R_1 \cdot X_2 &= y_1 C \sin \gamma \\ R_1 \cdot X_1 &= y_2 C \sin \varepsilon \end{aligned} \quad (6'')$$

dalle quali, volendo, è facile ricavare  $X_1$  ed  $X_2$  che forniscono l'ascissa del baricentro della fune scarica. È d'altra parte  $X_1 + X_2 = l$ ; e come si vede vi è abbondanza di equazioni tutte coesistenti.

La determinazione della ordinata del baricentro non ha interesse pratico.

Se ora applichiamo  $m$  carichi alla fune, essendo  $m$  un numero intero qualsiasi ed avendo ridotto il peso di ciascun carico adeguandolo al rapporto in peso unitario della fune rispetto a quella che realmente si adatterà, osserviamo che la risultante  $R_2$  dei carichi applicati sarebbe senz'altro nota se i carichi fossero verticali e cioè fissi alla fune; che è il caso di un impianto monofune.

Si verificherebbe in tale caso una discontinuità della curva, nei punti di applicazione dei carichi, corrispondente alla mancanza di un tratto di fune il cui peso è eguale a quello del carico applicato; ed il parametro in tutti gli archi di catenaria in cui la campata si spezza risulta costante non essendo applicate componenti orizzontali (diverso però da quello della fune a riposo perchè sono ruotate le reazioni degli appoggi e variate le componenti orizzontali di queste). Il calcolo sarebbe notevolmente facilitato; ma si osserva che, dopo l'ampio sviluppo di impianti monofune effettuato nei primi decenni del secolo specialmente da Ditte tedesche, tale

tipo per molte ragioni è ora meno usato, e viene limitato ad impianti speciali. Quindi non interessa ulteriore esame di questo caso particolare.

Nel caso di impianti trifune le sollecitazioni dovute ai carichi, a meno dell'attrito volvente quando questi sono in moto, sono dirette secondo la bisettrice della cuspidi che la fune forma sotto ogni punto di applicazione ed esercitano sulla fune una azione pari alla componente del loro peso secondo tale direzione. Direzione evidentemente incognita.

Ferma restando la possibilità grafica od analitica di valutare con molta approssimazione, in direzione e valore della componente che interessa, l'azione di ogni singolo carico riferendolo alla normale, nel punto di applicazione, alla traiettoria già nota della fune scarica; ed anche di procedere con il metodo di successive approssimazioni cosa che si può fare per qualche eccezionale campata, nulla però generalmente toglie alla buona esattezza del calcolo il considerare tutte le componenti attive dei carichi come agenti secondo la normale alla corda  $C$ . Particolarmente nel caso in cui insistano più carichi sulla campata, il che renderebbe laboriosa una più esatta valutazione che sarebbe invece rapida per un carico singolo, l'errore è ben modesto perchè nel calcolo dei momenti tenderanno di norma a compensarsi per il singolo carico l'errore nella entità della componente e quello nella lunghezza del braccio; ed a compensarsi gli errori dei vari carichi nella metà a monte ed in quella a valle della campata.

Analogamente si può, senza apprezzabile errore, considerare i momenti a fune carica  $M'_1$  ed  $M'_2$  eguali agli stessi momenti relativi alla fune scarica; il che equivale a trascurare il percentualmente minimo scorrimento della fune sull'appoggio e l'ancor più piccola componente orizzontale dello spostamento del baricentro della fune carica rispetto alla sua posizione a fune scarica. Sempre essendo possibile, anche per questa voce ed ove si voglia, ricorrere al metodo di successive approssimazioni.

Dalla fig. 4 si può senz'altro dedurre, ferma restando l'approssimazione nel valutare  $R'_1$  ed  $R_2$ :

$$\begin{aligned} y_1 \cdot \delta'_1 &= R \cdot \delta_3 = R'_1 \cdot X_2 + R_2 \delta'_3 \\ \sin \gamma' &= \frac{R \cdot \delta_3}{C \cdot y_1} = \frac{R'_1 \cdot X_2}{C \cdot y_1} + \frac{R_2 \delta'_3}{C \cdot y_1} \end{aligned} \quad (9)$$

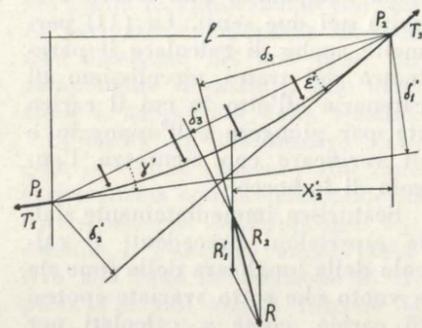


Fig. 4

Considerando  $R'_1 = R_1$  l'espressione, nel pratico impiego, può essere scritta, per le (6''):

$$\sin \gamma' = \sin \gamma + \frac{R_2 \cdot \delta'_3}{C \cdot y_1} \quad (9')$$

Identicamente si ricavano le espressioni relative al punto  $P_2$ .

Le condizioni più sfavorevoli per l'imbuco dei carrelli su di un appoggio si verificano quando è massimo il momento della risultante dei carichi rispetto all'altro appoggio; ed è quindi facile scegliere la condizione più sfavorevole di carico per le verifiche di progetto.

Essendo state introdotte forze orizzontali i parametri dei vari rami in cui si deforma la catenaria primitiva risultano variati. Per i due rami estremi che partono dagli appoggi i nuovi parametri valgono:

$$h'_1 = y_1 \cos \alpha'_1; \quad h'_2 = y_2 \cos \alpha'_2 \quad (9'')$$

Azione sui vincoli ed azione dei carichi.

L'azione che la fune, spostata dalla sua posizione di equilibrio, esercita sul relativo vincolo, supposto senza attrito, ha direzione e modulo ricavabili dalla composizione delle due forze che agiscono sul vincolo e che sono dirette secondo le tangenti, nel punto considerato, ai due rami in cui si è spezzata la catenaria primitiva. In particolare, essendo eguali per le ipotesi già poste i moduli delle

due componenti, la forza risultante è diretta secondo la bisettrice della cuspidi formata dalla fune. Tale forza è quindi individuabile senza difficoltà disponendo degli elementi geometrici già ricavati; ed è possibile definirne le proiezioni orizzontale e verticale.

In modo altrettanto semplice, con diverso ragionamento, si può supporre, dopo che la fune ha raggiunto sul vincolo la sua posizione di equilibrio, di sezionare la fune in corrispondenza del vincolo stesso ed esaminare l'equilibrio di questo sotto l'azione partitamente di ciascuno dei due rami che vi fanno capo e che si suppongono entrambi ancorati al punto rigido in esame. Ed appare evidente che il vincolo sarà soggetto ad una forza orizzontale eguale alla differenza dei parametri delle due catenarie che vi fanno capo; ed inversamente sarà la differenza dei suddetti parametri eguale ed inversa alla reazione orizzontale esercitata dal vincolo.

Altrettanto per la componente verticale che sarà eguale alla differenza dei due archi  $s$  già definiti a suo tempo relativi alle due catenarie e contati dal punto in esame (se il vertice della catenaria che costituisce la campata a monte cadesse nella campata stessa, l'arco  $s_2$  diverrebbe negativo e dovrebbe essere contato a partire da detto vertice verso il punto in esame).

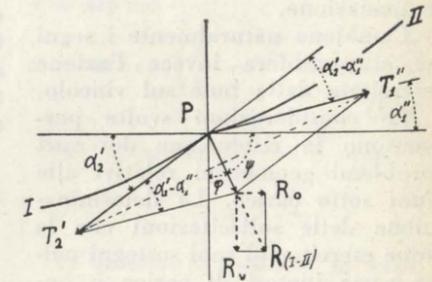


Fig. 5

Così (fig. 5) si ricava:

$$R_{P(1-11)} = 2 T_P \sin \frac{1}{2} (\alpha'_2 - \alpha'_1) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} (R_P)_o &= R \cos \varphi = R \cos \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha'_1 + \alpha'_2}{2} \right) = R \sin \frac{\alpha'_1 + \alpha'_2}{2} \\ &= R \sin \varphi \end{aligned} \quad (10')$$

$$(R_P)_V = R \cos \varphi =$$

$$= R \cos \frac{\alpha'_1 + \alpha'_2}{2} = R \sin \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha'_1 + \alpha'_2}{2} \right) = R \sin \psi \quad (10'')$$

Dalla fig. 6, per quanto sopra osservato e considerando  $p$  unitario, si vede:

$$R_o = h'' - h' = y_p (\cos \alpha''_1 - \cos \alpha'_2) \quad (11)$$

$$R_v = s'_p - s''_p = y_p (\sin \alpha'_2 - \sin \alpha''_1) \quad (11')$$

che potevano essere ricavate analiticamente dalle (10).

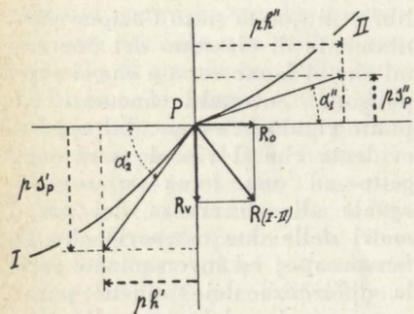


Fig. 6

È importante l'osservazione secondo cui due rami di catenaria della stessa fune che formino una cuspide in corrispondenza di un punto  $P$  (vincolo senza attrito) differiscono nei parametri di una quantità eguale alla risultante delle componenti orizzontali (od alla componente orizzontale della risultante) delle sollecitazioni esercitate sul vincolo dai due rami di fune. Ed inversamente con ovvia enunciazione.

Cambiano naturalmente i segni se si considera invece l'azione esercitata dalla fune sul vincolo.

Le considerazioni svolte permettono la risoluzione dei vari problemi geometrici relativi alle funi sotto carico. La determinazione delle sollecitazioni che la fune esercita sui suoi sostegni nelle varie ipotesi di carico è immediata dato che di questi si fissa la posizione.

Per la determinazione degli spostamenti della fune sotto carico soccorrono le (9'') e le (11). Noto infatti (fig. 7) il parametro del primo tronco a sinistra della campata  $P_1-P_2$  tracciando la relativa catenaria sino alla intersezione con la linea del carico si ottiene il nuovo punto  $P_{(2)}$  per cui passa la fune; lo stesso inversamente per l'ultimo tronco che termina in  $P_2$

determinando così  $P_{(2m)}$ ; per i tronchi intermedi i parametri e quindi le catenarie sono noti per la (11) essendo possibile valutare con buona esattezza le componenti orizzontali di  $z_1; z_2; \dots; z_m$ . Il procedimento ammette una evidente semplice verifica nella coincidenza dei risultati alle estremità della campata e può essere eseguito nei due sensi. La (11) permette anche di calcolare il parametro del tratto piccolissimo di catenaria all'atto in cui il carico sta per giungere sull'appoggio e di verificare con sicurezza l'angolo di imbocco.

Scaturisce immediatamente dalle espressioni precedenti il calcolo della lunghezza della fune sia a vuoto che sotto svariate ipotesi di carico, come  $s_o$  calcolati per ogni singolo tronco di catenaria (con la 4''), ed in particolare la lunghezza relativa alla ipotesi di carico più sfavorevole prevista. Per semplice differenza si ha la corsa del contrappeso alla quale verrà aggiunta l'aliquota per dilatazione termica ed il necessario franco.

Nella corsa del contrappeso è bene abbondare. Il contrappeso a fine corsa superiore rappresenta sempre una situazione densa di rischio per le eccezionali tensioni che possono facilmente ridurre a valori inferiori a quelli di sicurezza, se non addirittura invertire, le reazioni di alcuni appoggi con immediato pericolo di scavalamento della fune dalla scarpa. Circostanze dovute per esempio all'azione concomitante di basse temperature, formazione di manico di ghiaccio soltanto su al-

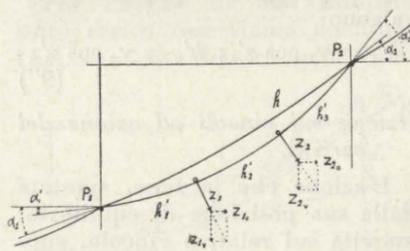


Fig. 7

cune campate di fune, forte vento trasversale.

Condizioni altrettanto aleatorie possono derivare dagli attriti sugli appoggi della fune. Autorevolmente e da più parti viene sostenuta la convenienza degli appog-

gi a semplice scorrimento (attrito radente). Una discreta esperienza e considerazioni di calcolo mi permettono di dissentire da tale posizione, non ben confortata da indiscutibili giustificazioni teoriche, a meno forse di considerazioni economiche e di manutenzione.

A parte infatti gli elevati valori del coefficiente di attrito al moto sta sempre il ben maggiore coefficiente di attrito alla partenza che mette sì in gioco forze passive di inerzia rilevanti ma anche rilevanti forze attive. Sviluppi di calcolo dinamico anziché statico hanno in varie circostanze precisato irregolarità di funzionamento tali da portare a limiti minimi i pur rilevanti coefficienti normali di sicurezza sia nelle sollecitazioni che nella stabilità degli elementi in moto. E del resto chiunque abbia osservato il funzionamento di certe teleferiche leggere ad elementi componibili non può non ricordare con vero senso di preoccupazione gli strappi cui, al passaggio specialmente di una monocarrucola, vanno soggetti tipi corti di scarpe oscillanti sospese; e le ondulazioni delle funi che si ripercuotono all'indietro per noti fenomeni di riflessione di onda unitamente alle vibrazioni di tutta la struttura di sostegno. Ciò con angoli di appoggio ampiamente compresi nei limiti prefissati.

Oltre alla possibilità di notevolmente aumentare la lunghezza delle singole tratte, gli appoggi ad attrito volente se ben progettati hanno permesso rispetto agli appoggi ad attrito radente una assai maggiore sicurezza di calcolo ed hanno presentato ottime caratteristiche di funzionamento ed esigenze di manutenzione perfettamente ragionevoli.

Comunque nel calcolo degli elementi geometrici della teleferica è necessario tenere conto della influenza degli attriti; come pure occorre considerare in uno con l'azione dei carichi sulla portante anche la relativa componente della azione della traente. Nei riguardi di questa i metodi di calcolo sono analoghi a quelli già esposti per la portante con le ovvie varianti dovute alle diverse condizioni di sollecitazione. Su tale calcolo è evidentemente impossibile dilungarsi. Sopperiscono

comunque senza difficoltà, anche se non senza esigenze di diligente laboriosità, le espressioni precedentemente ricavate.

Ed il calcolo finale di verifica dovrà sempre considerare per ogni elemento, sia geometrico sia rappresentato da una sollecitazione, non già una grandezza assoluta ma i due valori estremi che tale grandezza assume nelle estreme e più sfavorevoli condizioni di lavoro per l'elemento in esame.

Calcolo degli angoli di imbocco.

Si è accennato in varie occasioni alla possibilità di applicare il sistema di approssimazioni successive. Si deve notare al riguardo che la convergenza delle serie di valori ottenibili è, nei casi che interessano la pratica, estremamente rapida sì che in genere già alla prima ripetizione del calcolo si raggiungono approssimazioni ampiamente superiori alle possibilità tecniche di utilizzarle.

Si voglia ad esempio (fig. 8a) valutare esattamente l'angolo più

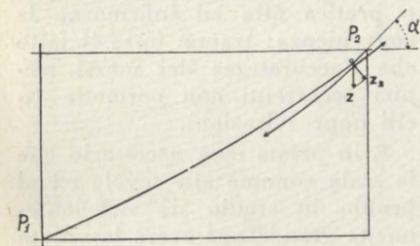


Fig. 8a

sfavorevole di imbocco sull'appoggio  $P_2$ ; condizione che si realizza, come già osservato, quando è massimo il momento dei carichi in linea rispetto all'appoggio  $P_1$ . Supposto per semplicità un solo carico  $Z$  sulla linea (nè in nulla varierebbe il procedimento se altri carichi in posizioni prefissate esistessero sulla linea, bastando in tal caso sostituire al valore  $a'$  più avanti definito il valore  $a'_m$  dovuto alla presenza di altri  $[m-1]$  carichi) questo sarà posto immediatamente a valle di  $P_2$  e si esaminerà il piccolo arco di catenaria compreso tra  $P_2$  ed il punto di applicazione del carico. Tale arco non supporremo così piccolo da dover prendere altresì in considerazione la curva elastica della fune; si deve infatti osservare che la fune in realtà ha momento di inerzia non nullo diversamente da quanto supposto nella prece-

dente esposizione. La resistenza a flessione della fune, pur essendo priva di influenza sulla configurazione generale di equilibrio, costituisce però oggetto di altre considerazioni che qui non interessano.

Si considera fune portante equilibrata e di peso unitario. Carico applicato senza attrito ed agente secondo la bisettrice della cuspide nel punto di applicazione con forza pari alla componente secondo tale direzione del suo peso. La componente normale a tale direzione è sopportata dalla traente.

Si tratta di determinare l'angolo  $a'$  che la tangente alla fune carica forma con la orizzontale in corrispondenza dell'appoggio  $P_2$ ; essendo  $a$  l'analogo angolo relativo alla fune in posizione di riposo. Per tali angoli valgono le già note relazioni

$$\cos \alpha = \frac{h}{y}; \quad \cos \alpha' = \frac{h'}{y} \quad (4')$$

distinguendo con (') le grandezze relative alla fune carica.

La freccia dell'arco  $Z-P_2$ , per lunghezze dell'ordine del metro, è rappresentata nei casi normali da qualche unità della quinta cifra decimale e pertanto tale tronco è praticamente rettilineo; con analoga approssimazione pratica il parametro a fune carica del rimanente tratto di campata può essere ritenuto invariato rispetto al corrispondente valore a fune scarica; e così pure, nelle immediate adiacenze del punto  $P_2$  può dirsi per il valore di  $a$  nel ramo a sinistra del carico.

La determinazione di  $a'$  dipende quindi dalla grandezza di  $h'$  che andiamo a determinare con il sistema di approssimazioni successive sviluppando però analiticamente i successivi valori; mentre nel caso pratico si procederebbe con ovvio metodo diretto.

Dalla fig. 8b risulta:

$$Z_o = Z \cos \frac{\alpha + \alpha'}{2} \sin \frac{\alpha + \alpha'}{2} \quad (12)$$

che per  $a = a'$  (valore iniziale, con cui si suppone in prima approssimazione che  $Z$  agisca in senso ortogonale alla tangente alla fune scarica tracciata nelle immediate adiacenze di  $P_2$ ) fornisce:

$$Z_o = Z \cos \alpha \sin \alpha \quad (12')$$

Si distinguono qui avanti con gli indici ('); ("); ...; (n) i valori forniti dalle successive approssimazioni inerenti alla fune carica.

Per la (4') qui sopra riportata e per le (11) e (12') si ha:

$$\cos \alpha' = \frac{h'}{y} = \frac{h - Z_o}{y} = \frac{h}{y} - \frac{Z}{y} \cos \alpha \sin \alpha \quad (13)$$

Ricavando da questa per mezzo della (12) il nuovo valore  $Z'_o$  e ripetendo il ragionamento si ot-

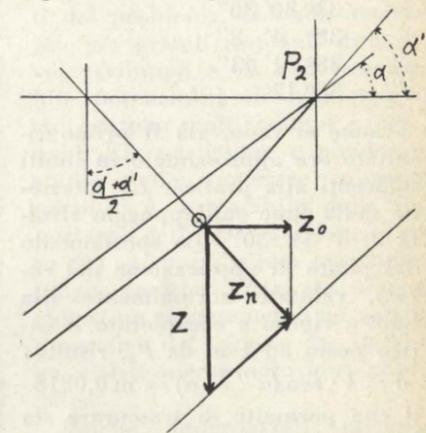


Fig. 8b

tiene (si insiste sul fatto che  $n; n-1 \dots$  sono semplicemente indici di successive approssimazioni):

$$\cos \alpha'' = \frac{h}{y} - \frac{Z}{y} \cos \frac{\alpha + \alpha'}{2} \sin \frac{\alpha + \alpha'}{2} \quad (13')$$

$$\cos \alpha^n = \frac{h}{y} - \frac{Z}{y} \cos \frac{\alpha + \alpha^{n-1}}{2} \sin \frac{\alpha + \alpha^{n-1}}{2}$$

in cui:

$$\alpha = \arccos \frac{h}{y}$$

$$\alpha' = \arccos \left( \frac{h}{y} - \frac{Z}{y} \cos \alpha \sin \alpha \right) \quad (13'')$$

$$\alpha^{n-1} = \arccos \left( \frac{h}{y} - \frac{Z}{y} \cos \frac{\alpha + \alpha^{n-2}}{2} \sin \frac{\alpha + \alpha^{n-2}}{2} \right)$$

Vi sarebbe possibilità di valutare analiticamente la rapidità con cui i successivi valori convergono. Ma trattandosi di considerazioni alquanto laboriose conviene limitarsi ad uno sviluppo numerico.

Poste, per un carico  $Z$  corrispondente al peso di 120 m di fune, le caratteristiche praticamente attendibili:

$$h = 1.000 \text{ m}$$

$$y = 1.200 \text{ m}$$

$$Z = 120 \text{ Kg}$$

si ricava successivamente:

$$\cos \alpha = \frac{1.000}{1.200} = 0,83333$$

$$\cos \alpha' = 0,83333 - 0,1 \cdot 0,4606 = 0,78727;$$

$$\cos \alpha'' = 0,83333 - 0,1 \cdot 0,4744 = 0,78589;$$

$$\cos \alpha''' = 0,83333 - 0,1 \cdot 0,4747 = 0,78586;$$

$$\alpha = 33^\circ 30' 30''$$

$$\alpha' = 38^\circ 4' 8''$$

$$\alpha'' = 38^\circ 11' 43''$$

$$\alpha''' = 38^\circ 12'$$

Come si vede, già il primo risultato era approssimato in limiti sufficienti alla pratica. La rotazione della fune sull'appoggio risulta di  $4^\circ 41' 30''$ . Lo spostamento del punto di applicazione del carico, valutato normalmente alla fune a riposo e considerato il carico posto ad 1 m da  $P_2$ , risulta:

$$\delta = 1 \cdot \sin(\alpha''' - \alpha) = m 0,0818$$

il che permette di trascurare sia la variazione di  $y$  nel punto di applicazione del carico sia la rotazione dell'arco di campata a sinistra nella figura; rotazione evidentemente insensibile, come già supposto, se la luce complessiva della campata supera il limite eccezionalmente ridotto di 30 m.

Risulterebbe invece eccessivo l'angolo dei due rami di fune sotto il carico. In tale punto la fune verrebbe troppo solleccitata. E ciò richiede, come usuale, la distribuzione su più ruote del carico del carrello.

Valendosi dell'angolo  $\alpha'''$  e dell'analogo angolo calcolato a monte si può determinare la lunghezza dell'appoggio (scarpa) della fune, salvo l'opportuno franco. Prefissato il raggio  $\rho$  min di curvatura ammissibile per le condizioni di lavoro e per il tipo e diametro della fune adottata, la lunghezza sviluppata lungo il dorso dell'appoggio risulta immediatamente dalla:

$$L = \rho \tau \text{ (rad.)} \quad (14)$$

essendo  $\tau$  l'angolo di deviazione tra le posizioni estreme che le tangenti alla fune possono assumere a monte ed a valle dell'appoggio. Per piccoli impianti con sostegni sospesi oscillanti tale lunghezza viene ridotta. La (14) vale naturalmente per appoggio avente raggio di curvatura costante in tutta la lunghezza.

Sempre rispettando il valore

$\rho$  min, per una migliore regolarità di passaggio dei carichi sugli appoggi è spesso opportuno adottare profilo longitudinale della scarpa non tracciato secondo un arco di cerchio ma secondo curve più complesse. La questione esula però da quanto in argomento.

*La risoluzione della equazione (5) per confronto grafico.*

Quanto sopra esposto e quanto direttamente ricavabile per gli argomenti non sviluppati fornisce in modo estremamente elementare la possibilità di calcolare gli elementi geometrici di un impianto su fune. Ma quanto sopra è subordinato alla possibilità di pratica risoluzione del sistema (5) tutt'ora non affrontata e la cui risoluzione analitica, anche tenendo conto di vari possibili artifici accennati, è stata scartata; ed a ciò conviene ora dedicarsi.

La risoluzione del sistema (5) per tentativi grafici, cioè ricercando graficamente quella catenaria le cui caratteristiche soddisfanno il sistema, è attuabile con grande facilità e con esattezza praticamente rigorosa.

Ciò si riduce ad ottenere la coincidenza grafica tra gli elementi disponibili ed una tra le catenarie appartenenti ad un fascio già preventivamente tracciato nella stessa scala in cui vengono riportati i dati del problema. Il che in modo del tutto agevole e spedito si effettua sovrapponendo alla serie di catenarie disegnate un disegno trasparente (lucido) dei punti prefissati di passaggio della fune. Il sistema non solo permette la determinazione del parametro incognito della catenaria cercata ma permette altresì l'immediato tracciamento delle catenarie di parametro già noto ove questo sia stato calcolato in base a relazioni precedentemente espresse.

Occorre quindi disporre di una opportuna tavola rappresentante in coordinate cartesiane ortogonali la serie di catenarie coassiali, che sono omotetiche rispetto alla origine, con parametri scalati in adeguata misura e tracciate in scala tale da permettere la necessaria approssimazione nella lettura.

Naturalmente oltre che sulla ta-

vola delle catenarie anche sul profilo da sovrapporvi occorre sia segnato l'asse delle ascisse, o linee di fede, da far coincidere per trasparenza, atte a sostituirlo. Asse noto, essendo prefissata la tensione della fune in un punto. Normalmente si tracciano altresì le linee verticali che danno le ascisse dei vari punti rispetto al vertice delle catenarie.

In fig. 9 la fotografia parziale di una tavola di catenarie.

Nel caso normale non si realizzerà la coincidenza esatta di una determinata catenaria ma si ricorgerà generalmente alla facile interpolazione lineare tra le due catenarie che risultano comprendere quella cercata.

Tavole del genere sono state reperibili in commercio. Ma per la esattezza del procedimento occorrono particolari avvertenze. In un lungo impiego di tale sistema fatto con tutta la necessaria accuratezza non è stato possibile precisare alcuna considerazione teorica o pratica atta ad infirmarne la convenienza; tranne forse il fatto che l'accuratezza dei mezzi tecnici occorrenti non permette facili improvvisazioni.

È in prima cosa necessario che la scala comune alle tavole ed al profilo in studio sia sufficientemente grande per avere la voluta precisione. Prevedendo una approssimazione grafica di 1/2 mm (in realtà possono essere apprezzate grandezze minori) occorre che almeno la scala delle altezze non sia inferiore ad 1/1.000. La scala delle lunghezze può essere tenuta per esempio 1/2.000. Molto rigorosamente esatto deve essere il disegno della tavola di catenarie il che rappresenta un notevole onere; ma soprattutto è indispensabile che la stessa non sia soggetta a deformazioni dovute ad esempio ad igroscopicità del materiale su cui è tracciata; deformazioni ben note a chiunque abbia dovuto usare con esigenze di una certa esattezza i dati ricavabili dalle comuni carte topografiche.

Affrontando un vasto programma di lavoro venne a suo tempo predisposta l'accurata costruzione di un gruppo di tavole di catenarie in scala (altezze-lunghezze) 1/500 - 1/1.000 diligentemente in-

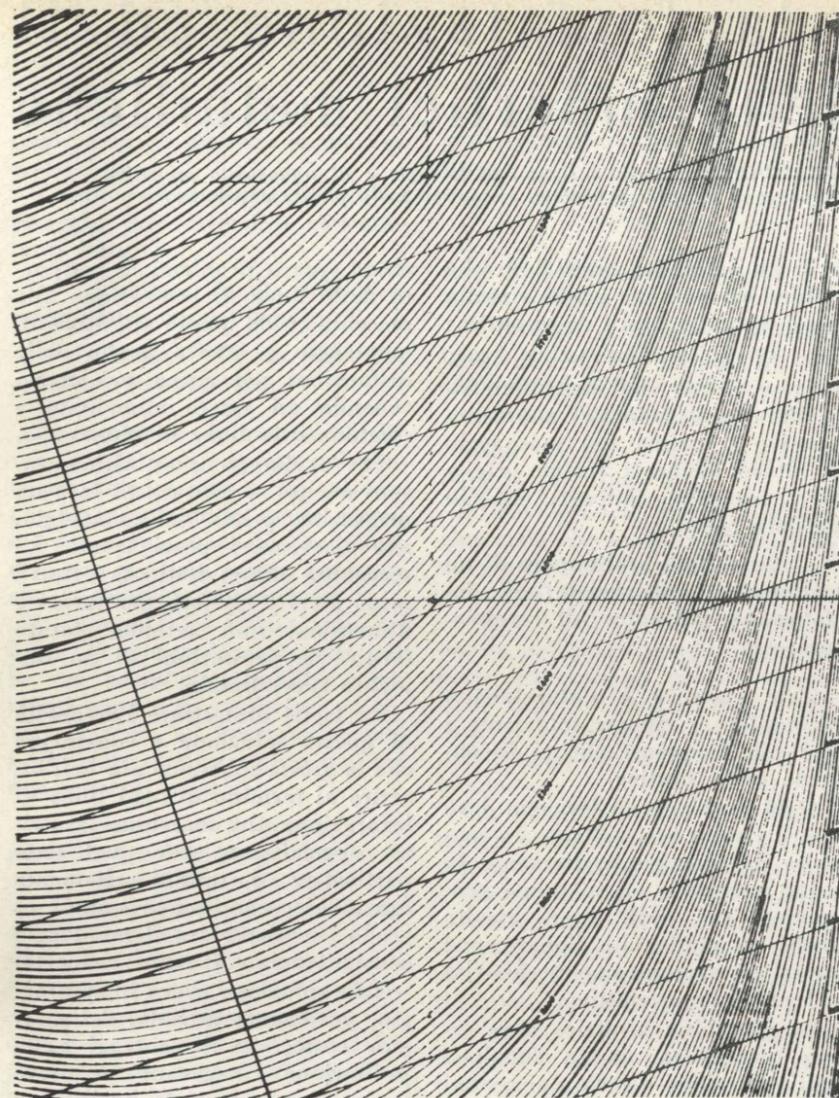


Fig. 9

cise su lastre metalliche polite e destinate ai più esatti calcoli di verifica finale. Per lo studio generale dei profili vennero invece tracciate e riprodotte tavole in scala metà delle precedenti accuratamente fatte aderire a fogli di legname compensato ed intelaiato, conservati con molta cura. In tal modo fu possibile, in poco più di due anni, eseguire un non trascurabile lavoro considerante la costruzione di oltre 70 Km di teleferiche per materiali e per servizio misto, ripartiti in impianti e tronchi di varia lunghezza; e ciò in zone particolarmente impervie ed ammettenti lavoro eminentemente stagionale.

Il tracciamento su alcune tavole delle tratrici (evolventi) e delle

evolventi delle catenarie permise qualche maggiore celerità di progettazione, pur essendo apparsa pienamente sufficiente ad ogni effetto la tavola semplice lasciando al calcolo analitico la esatta determinazione delle tangenti.

Essenziale invece in ogni caso l'ottima attrezzatura tecnica per le elaborazioni grafiche, le quali presentano esigenze superiori a quelle comunemente considerate ove si desideri una reale e rigorosa esattezza di calcolo.

La progettazione fatta in tal modo con le formule esatte della catenaria non diede mai luogo a sia pur modesti inconvenienti. Cosa che era invece avvenuta con altri metodi approssimati di calcolo.

La facilità e rapidità di tracciamento, conseguente al metodo descritto, delle traiettorie geometriche delle funi semplifica molto lo studio preliminare del tracciato dell'impianto. Se per piccoli impianti destinati a collegare due precise località il profilo non può che essere determinato, con minime variazioni, dagli stessi elementi del problema, ciò non avviene più per grandi impianti di notevole sviluppo e di non trascurabile potenzialità di trasporto di cui esistono molti esempi e per i quali l'accuratissimo e ponderato studio delle numerose soluzioni possibili è inscindibile dalla importanza della progettazione. Tanto più se, come spesso avviene su lunghi tracciati, non sia sempre chiaro un orientamento od assetto orografico del terreno che imponga elettivamente soluzioni obbligate.

Poichè inderogabili esigenze tecniche richiedono la suddivisione in tratte dei lunghi impianti e poichè nei punti intermedi ai vari tronchi hanno relativamente scarsa importanza deviazioni angolari anche notevoli, il problema si avvicina a quello del progetto di ampia indagine di una strada.

L'esame dettagliato di ogni particolarità del terreno sarà sempre a base di ogni ponderato studio; e detto esame sarà facilitato dalla rappresentazione, facilmente costruibile, delle linee orografiche essenziali, successivamente sviluppate nei dettagli sino a nuovamente giungere alla carta topografica per il più minuto esame delle soluzioni impostate nelle linee generali. Il tutto integrato dal costante controllo a vista sul terreno che sempre fornisce i più attendibili elementi di scelta ed a cui soccorre anche la lunga esperienza nella lettura della tavoletta per cui, senza ausilio di tinte ipsometriche, è possibile trarre da questa la visione in rilievo, quasi su di un plastico, del terreno rappresentato.

Ed è ovvia la conclusione secondo cui la realizzazione di un impianto di trasporto su fune rappresenta sempre un complesso problema tecnico che comprende altresì seri problemi meccanici qui non accennati.

Renato Grignolio

# Il lavaggio, la fosfatazione ed il trattamento delle superfici metalliche

GUIDO COLNAGHI ed ELVIO FLAMINIO esaminano i sistemi di lavaggio e di trattamento protettivo delle superfici metalliche ed espongono alcuni casi concreti riscontrati nella pratica costruttiva.

## Parte prima: LAVAGGIO

### Scopi e problemi in rapporto alla meccanizzazione nei vari settori industriali.

Prima di iniziare la trattazione specifica dei vari argomenti che sono oggetto della presente relazione, vogliamo richiamare l'attenzione sul titolo dato a questa prima parte:

#### — Lavaggio

Vogliamo cioè precisare che i problemi che si incontrano nell'industria meccanica sono più genericamente problemi di lavaggio e non solamente di sgrassaggio.

È necessario fare questa distinzione, perchè erroneamente si fa molto spesso confusione tra i due termini, venendo considerati tutti i diversi problemi come solamente di sgrassaggio.

Il lavaggio dei pezzi metallici si rende assai spesso e variamente necessario nel corso del processo produttivo.

I casi più frequenti sono:

— Nel passaggio da una lavorazione su una macchina utensile ad un'altra di diverso tipo, per presentare all'operatore ed alla macchina pezzi il più possibile esenti da grassi, olii, trucioli, etc.;

— Prima di un trattamento termico, e quindi ad esempio prima della cementazione o della tempera, oppure dopo la tempera prima del rinvenimento: il lavaggio è in tali casi necessario perchè la presenza di sostanze estranee sulle superfici dei pezzi potrebbe essere dannosa per l'esecuzione del trattamento (specialmente nel caso di forni con atmosfera controllata); oppure perchè si verrebbero a formare fumane assai dense, dannose per gli operatori, a causa della combustione degli olii e grassi presenti; ecc.;

— Al termine di una serie di lavorazioni, prima di un controllo

o di un collaudo; operazioni che richiedono per una giusta riuscita pezzi del tutto esenti da impurità;

— Al termine del ciclo di lavorazione prima dell'assemblamento del particolare nel suo complessivo o prima del montaggio di alcuni elementi (come prigionieri, bronzine, supporti, ecc.) in un dato pezzo;

— Come fase preliminare di un trattamento superficiale: di fosfatazione, galvanico, di verniciatura, ecc.

Tale casistica è naturalmente incompleta e riporta solamente i casi più frequenti che si incontrano nella pratica.

Ogni problema di lavaggio deve essere risolto non soltanto in maniera da ottenere esattamente lo scopo prefissato ed in modo economico, ma deve essere risolto anche in modo che l'operazione stessa sia armonicamente inserita nel processo produttivo.

La macchina lavatrice deve essere progettata sia in funzione dell'operazione o delle operazioni che devono essere eseguite (sgrassaggio, risciacquo, ecc.), sia in funzione del suo inserimento nel ciclo produttivo, affinché attraverso di essa non si verificino strozzature od ingorghi nelle linee di lavorazione.

Tale necessità, di abbinare cioè lo studio delle prestazioni della macchina con il suo inserimento nel circuito produttivo, spesse volte non è sentita od intravista ed il problema di lavaggio è affrontato in modo errato ed empirico.

Per fare un esempio, una certa ditta X costruttrice in grande serie di un certo apparecchio Y formato da un certo numero di particolari doveva lavare i diversi componenti prima dell'assemblaggio e pensava di risolvere tale problema con un impianto centralizzato che lavasse tutti i particolari.

L'installazione di una tale mac-

china creava problemi di trasporto dalle linee di lavorazione alla macchina e da questa alle linee di montaggio e creava anche delle disfunzioni nel ritmo produttivo venendo ad essere alimentate a singhiozzo le linee di montaggio.

Per ovviare a quest'ultimo inconveniente si pensava di fare un magazzino prima del montaggio, che ricevesse i pezzi lavati. La macchina infine, destinata a tutti i pezzi diversi tra loro per forma e dimensioni non avrebbe potuto fornire le prestazioni di un impianto specializzato.

Fu facile dimostrare l'erroneità di questa soluzione e convincere che la giusta soluzione era nell'inserire al termine di ogni linea di lavorazione una macchina lavatrice, specializzata per quel dato particolare e quindi altamente funzionale, continua e quindi in grado di alimentare il montaggio costantemente al ritmo richiesto.

Tale soluzione aveva lo svantaggio, puramente iniziale, del maggior costo, ma i vantaggi nella produzione ripagavano in breve tempo questo iniziale handicap.

### Tipi di lavaggio - Immersione, spruzzo ed ultra-suoni.

I lavaggi si distinguono tra di loro:

— In base al modo come vengono eseguiti;

— In base al ciclo al quale vengono sottoposti i pezzi.

I diversi metodi di esecuzione del lavaggio sono:

— Immersione;

— Spruzzo;

— Ultra-suoni.

Il metodo dell'immersione è il più semplice e come tale, porta ad installazioni di costo iniziale minimo e alti costi di esercizio (manodopera).

L'installazione è costituita genericamente da una o più vasche corrispondenti ognuna ad una delle fasi del trattamento, nelle quali vengono successivamente immersi i pezzi.

L'immersione sfrutta ai fini del lavaggio due diversi e concomitanti fattori:

— Un'azione dovuta alle proprietà chimiche del bagno;

— Un'azione dovuta alla sua eventuale temperatura.

La risultante di questi due diversi fattori non è spesso sufficiente ad ottenere una totale pulizia, perchè infatti molto spesso grassi, incrostazioni, trucioli, morchie, etc. non possono essere asportate con la semplice immersione.

In questo fatto risiede uno dei limiti di questo lavaggio che per la sua semplicità sarebbe altrimenti sempre da preferire.

Il lavaggio ad immersione può però essere migliorato con uno dei due seguenti mezzi:

— Agitazione: il bagno viene posto in circolazione per mezzo di una pompa all'interno della vasca. Le correnti che si creano sono opportunamente direzionate in modo che il liquido in movimento fluisca attraverso i pezzi ed eserciti con questa sua continua circolazione un'azione meccanica che propriamente manca al semplice lavaggio ad immersione;

— Sbattimento: i pezzi sono posti in continuo movimento in seno al bagno in modo da ottenere un risultato analogo al precedente. L'azione risultante è in tal caso più efficace che con la agitazione.

— Insufflazione A. C.

Il lavaggio a spruzzo rappresenta un notevole perfezionamento rispetto a quello ad immersione ed è la tecnica più moderna ed avanzata nel campo del lavaggio. Con esso si sono potuti raggiungere risultati praticamente impossibili con l'altro metodo.

Nel lavaggio a spruzzo i pezzi sono investiti uniformemente in ogni punto della loro superficie da getti di liquidi (soluzioni detergenti, etc.) spruzzati per mezzo di una pompa, o di fluidi e gas vettori.

La maggiore efficacia del trat-

tamento a spruzzo è dovuta al fatto che in esso viene sfruttata, insieme all'effetto chimico e termico dei liquidi l'energia cinetica dei getti conformemente alla formula fisica:

$$\frac{M \cdot V^2}{2}$$

dove  $M$  è la massa del getto e  $V$  la sua velocità.

Il lavaggio a spruzzo è ottenuto perciò dalla risultante di tre concomitanti e diverse azioni:

chimica - termica - meccanica.

Quest'ultima è preponderante rispetto alle altre due.

È stato provato, sia in sede sperimentale che anche nell'attuazione pratica, che la velocità di reazione nel trattamento a spruzzo aumenta di 3÷5 volte rispetto a quella dell'immersione. Ciò porta come conseguenza minore durata delle fasi del trattamento e, nel caso di soluzioni detergenti, minori concentrazioni di prodotti nel bagno.

Un paragone tra i due trattamenti, immersione e spruzzo, dal punto di vista del costo d'esercizio è molto difficile, perchè generalmente ognuno dei due sistemi ha il proprio campo d'azione e pochi sono i casi che possono servire da termine diretto di paragone.

D'altronde la scelta del tipo di lavaggio è influenzata da altri fattori (produttività, grado di pulizia, etc.) oltre che dal costo di esercizio.

Ad ogni modo volendo fare un'analisi dei vantaggi e degli svantaggi, nel caso dell'immersione abbiamo minor costo iniziale degli impianti, minor costo unitario dei detergenti, ma maggiore concentrazione di essi nei bagni; minor consumo di calore, ma temperature più elevate; impossibilità di ottenere certi determinati risultati di lavaggio e di trattare certi determinati pezzi; tempi molto lunghi delle varie fasi del ciclo ed impossibilità pratica di raggiungere certi elevati valori di produttività.

Nel caso del trattamento a spruzzo, abbiamo sovente un maggior costo iniziale degli impianti; maggior costo unitario dei prodotti sgrassanti, ma concentrazioni sempre molto basse; consumo di calore all'ora maggiore; tempera-

ture di lavoro inferiori; metodo praticamente universale e che consente la costruzione di impianti ad elevata produttività.

Il lavaggio con ultra-suoni viene eseguito ad immersione in un bagno detergente percorso da onde ultra-sonore che hanno lo scopo di provocare un'azione meccanica di « spazzolatura » sui pezzi.

Poichè queste onde hanno frequenze elevate, l'azione meccanica è assai efficace e mira a favorire la pulizia ed il distacco delle sostanze contaminanti, riducendo i tempi di trattamento. Questo tipo di lavaggio allo stato attuale delle apparecchiature disponibili, si presta per piccoli pezzi ed a forma complessa per i quali sia necessaria una pulizia impeccabile od esista il problema di allontanare i contaminanti molto consistenti e che diversamente non potrebbero essere completamente rimossi come pasta di brillantatura, incrostazioni carboniose, veli di grafite, etc.

Le macchine ad ultra-suoni generalmente hanno bassa potenzialità produttiva e funzionamento discontinuo a causa delle esigenze costruttive inerenti alle dimensioni degli emettitori di ultra-suoni. L'impiego di questi ultimi si è rivelato interessante anche per problemi collaterali al lavaggio, come ad esempio la depurazione delle soluzioni detergenti.

Ad esempio era dato il caso di pezzi brillantati con pasta di lucidatura contenente grafite, grassi ed ossido di ferro, che durante il lavaggio venivano rimossi in una comune lavatrice a spruzzo, ma rimanevano in sospensione nel bagno inquinandolo rapidamente.

Infatti, l'ossido di ferro in particelle galleggiava e veniva rimesso in ciclo dalla pompa di lavaggio. Trattando con ultra-suoni il bagno, si è riusciti ad operare un'agglomerazione delle particelle di ossido di ferro che precipitava sul fondo.

L'impiego di ultra-suoni peraltro, ha degli inconvenienti dovuti principalmente al costo di impianto molto elevato e che difficilmente può giustificarsi con la produzione ottenibile. Esiste inoltre la difficile messa a punto, soprattutto per la determinazione delle frequenze di lavoro e per evitare

che il bagno od i pezzi entrino in risonanza annullando il vantaggio dell'azione meccanica. Tali inconvenienti si eliminano adottando apparecchiature a frequenza variabile (per potenze limitate) ed inserendo meccanismi nelle lavatrici che presentano i pezzi alle onde ultra-sonore ripetutamente con le diverse superfici. È da notare che la frequenza degli ultra-suoni va messa in relazione ai liquidi detergenti da impiegare e quindi può avvenire che la macchina non sia utilizzabile per altri impieghi.

Inoltre, la manutenzione richiesta per il funzionamento è importante a causa della delicatezza delle apparecchiature.

Un'ultima difficoltà che si oppone alla diffusione degli ultrasuoni nelle macchine lavatrici è costituita dalla modesta superficie degli emettitori.

È noto infatti che gli ultra-suoni si diffondono linearmente e subiscono una notevole attenuazione nel liquido. Per ottenere un lavaggio discreto è pertanto necessario disporre i trasduttori molto vicini ai pezzi da lavare e di superficie press'a poco analoga.

Esistono trasduttori magnetostrittivi oppure piezoelettrici, costruiti con cristalli di quarzo o, più recentemente, con materiali ceramici (titanato di bario). Questi ultimi sono normalmente dei dischetti circolari il diametro dei quali non supera i 5 cm. È pertanto necessario per coprire superfici notevoli, predisporre di un grande numero di trasduttori. Ciò non è economicamente fattibile, ad eccezione dei trasduttori di titanato di bario che, in alcuni casi, sono effettivamente stati montati in numero di molte decine. Tale caso è però un'eccezione e si è potuto realizzare economicamente incollando i trasduttori direttamente sul fondo dei recipienti che contenevano i pezzi da lavare.

I trasduttori a magnetostrizione possono, in certi casi, venire immersi nel liquido di lavaggio. Per disporre di notevole superficie irradiante si dispongono sul fondo della vasca a forma di scacchiera in modo da coprire una superficie possibilmente ampia.

Recentemente sono entrati nell'uso sistemi che permettono di irradiare con ultra-suoni una su-

perficie anche notevole, pur disponendo di un trasduttore a superficie piuttosto piccola. A tale scopo si procede disareando il liquido di lavaggio in modo da diminuire l'attenuazione del bagno e permettere una riflessione multipla degli ultra-suoni. Si può ottenere la disareazione tenendo il liquido in leggera ebollizione, oppure facendo il vuoto nel recipiente di lavaggio. Ambedue questi sistemi vengono usati con buoni risultati.

Le frequenze di lavoro più comuni degli ultrasuoni sono di 20 e 40 kHz per i trasduttori a magnetostrizione ed intorno a 800 ÷ 1000 kHz per i trasduttori piezoelettrici.

Nel primo caso il lavaggio avviene essenzialmente per la cavitazione superficiale, nel secondo per effetto dei campi di accelerazione presenti nel fascio ultrasonico.

È necessario in ogni caso disporre di una macchina perfettamente costruita e messa a punto con numerose prove di funzionamento.

#### **Prodotti detergenti - Soluzioni alcaline, solventi organici e solventi clorurati.**

I prodotti usati nel lavaggio dei metalli si possono raggruppare in tre distinte categorie:

prodotti alcalini - solventi clorurati - solventi organici.

Accanto a questi, non bisogna dimenticare l'acqua, a temperatura ambiente o calda che sia, la quale in alcuni casi da sola può effettuare soddisfacentemente il lavaggio richiesto. Valgono a titolo di esempio il lavaggio di piccoli pezzi sinterizzati all'uscita dei forni di sinterizzazione, ed il lavaggio di accumulatori per auto dopo l'operazione di carica con acido.

I prodotti alcalini sono a base di idrati e specialmente di sali (fosfati, silicati, etc.) dei metalli alcalini e sono usati in soluzioni acquose, in concentrazioni dallo 0,5 ÷ 1 % per lo spruzzo al 5 ÷ 6 % per l'immersione, a temperature variabili tra i 60°C. e gli 80° ÷ 85°C.

Questi prodotti contengono sempre speciali agenti che hanno lo scopo di potenziare le proprietà bagnanti, emulsionanti e disperdenti delle soluzioni detergenti.

Al lavaggio alcalino seguono quasi sempre uno o più risciacqui eseguiti con acqua a temperatura ambiente. Qualche volta essi sono effettuati con soluzioni acquose calde di prodotti passivanti, in concentrazioni molto basse (inferiori all'1 %), allo scopo di fornire alle superfici dei pezzi una protezione anti-ruggine che ha però valore limitato nel tempo e nell'efficacia.

I prodotti alcalini non hanno costi elevati ed influiscono in piccola parte sul costo d'esercizio.

I solventi clorurati usati sono trielina nella maggiore parte dei casi e percloroetilene, tetracloroetano, tetracloruro di carbonio, etc.

Essi vengono impiegati quasi sempre ad immersione, in una delle seguenti maniere:

— Immersione in vapori del solvente;

— Immersione in solvente liquido alla temperatura di ebollizione;

— Immersione in solvente a temperatura ambiente.

Il ciclo può essere formato o da una sola fase di quelle sopra dette o dalla combinazione di più di esse. Questo dipende dal grado di pulizia che si vuole ottenere, dalla natura e quantità delle impurità da asportare, e dalla dimensione e forma dei pezzi.

Lo spruzzaggio è generalmente impiegato come operazione finale, manuale, od automatica, avente lo scopo di effettuare una finitura dei pezzi in alcuni punti critici, come fori, cavità, etc. Il solvente quando ha raggiunto una certa concentrazione di olii o grassi (variabile dal 20 ÷ 25 % in volume per l'immersione in fase vapori all'1 ÷ 2 % per gli altri casi) può essere rigenerato mediante distillazione e tornato ad usare.

I solventi clorati hanno un costo di acquisto molto elevato ed il loro uso è spesso limitato dalle loro azioni tossiche.

I costi di esercizio sono sempre molto alti e possono divenire proibitivi a causa di una cattiva condotta della macchina e del lavoro.

I risultati del lavaggio sono ottimi e quasi sempre superiori a quelli ottenuti con detergenti alcalini.

I solventi organici hanno un impiego assai limitato a paragone delle altre due categorie di detergenti.

Essi sono tutti derivati della distillazione del petrolio come ad esempio: petrolio illuminante, kerosene, ragie minerali, benzine, che sono i prodotti più usati.

Essi possono essere usati sia ad immersione che a spruzzo, sempre però a temperatura ambiente.

Molte volte è richiesto il loro impiego, perchè essi lasciano sulle superfici dei pezzi un leggero velo untuoso, molto utile ai fini di protezione anti-ruggine, per agevolare operazioni di montaggio, ecc.

I solventi organici hanno scarso impiego per il loro costo, per i modesti risultati di lavaggio che si ottengono e specialmente perchè pericolosi da usarsi. Per quest'ultima causa gli impianti dove essi sono usati devono sottostare alle norme anti-infortunistiche ENPI e corredati di apparecchiature anti-deflagranti (motori, apparecchiature elettriche, impianto elettrico, ecc.).

#### **Tipi di macchine - Discontinue e continue.**

Le macchine lavatrici si distinguono in due categorie:

— Continue

— Discontinue.

La distinzione indica il carattere della produzione della macchina.

Nel primo caso le macchine sono capaci di realizzare una produzione continua, di valore costante o variabile; mentre nell'altro caso la produzione è saltuaria, ad intervalli di tempo costanti o no.

Il carattere di continuità viene dato praticamente da un trasportatore che muovendosi senza soste fa percorrere ai pezzi la macchina trasportandoli dalla zona di carico a quella di scarico. Durante questo percorso i pezzi subiscono i vari trattamenti previsti dal ciclo.

Le macchine discontinue sono generalmente prive di trasportatore e costituite da una unità sulla quale vengono caricati i pezzi da trattare. Questi vi permangono fino allo scadere del tempo previsto, dopodichè vengono scaricati, e la macchina è pronta per ricevere nuovi pezzi.

Molte volte le macchine continue sono provviste di trasportatore con avanzamento a singhiozzo, ed i pezzi sono convogliati successivamente nelle diverse parti o zone che formano la macchina, per sostarvi un determinato tempo prestabilito. I pezzi sono in tal modo successivamente sottoposti a tutto il ciclo di operazioni richiesto, per essere poi scaricati.

I fattori fondamentali che influenzano la scelta della macchina sono in questo caso la produzione che si vuole ottenere e l'inserimento della macchina nel ciclo di lavorazione.

Le macchine continue, oltre ad essere capaci di forti produzioni, possono disporsi di seguito ad altre macchine, impianti o trasportatori, usufruire spesso del medesimo trasportatore di reparto, alimentare in continuità una linea di lavorazione, ecc. Esse si inseriscono quindi in modo completo nel ritmo produttivo, evitando strozzature, inceppi, rallentamenti, inevitabili con le macchine discontinue.

Il caso più caratteristico di queste ultime è rappresentato dalla semplice vasca, che contiene il bagno, e nella quale vengono immersi i pezzi. Nel caso che il bagno debba essere caldo, nella vasca sono contenuti anche gli organi per il riscaldamento, insieme a tutta l'apparecchiatura di controllo e regolazione della temperatura. Se il lavaggio è effettuato con solventi clorati, la vasca deve essere costruita in modo da evitare la fuori-uscita di vapori di solvente. Sarà quindi munita di serpentino refrigerante per l'abbattimento dei vapori e di elettroaspiratore centrifugo, disposti in serie in modo che l'elettroaspiratore intervenga nel caso che il serpentino di condensazione non sia totalmente efficace.

Il tipo più diffuso di macchina discontinua a spruzzo è costituito da una vasca contenente il bagno e gli eventuali organi di riscaldamento, chiusa superiormente da una cabina destinata a ricevere i pezzi. All'interno della cabina sono disposti gli organi spruzzatori alimentati con il bagno contenuto nella vasca attraverso una pompa.

Gli impianti continui sono costituiti da una o più vasche, a seconda delle fasi del ciclo, sopra le quali è disposto un tunnel continuo, e dal trasportatore che percorre in tutta la sua lunghezza la macchina, all'interno del tunnel.

Nel caso di trattamento ad immersione, il trasportatore immerge i pezzi successivamente nelle varie vasche.

Nel trattamento a spruzzo, all'interno del tunnel, in zone determinate, sono posti gli organi spruzzatori collegati attraverso la pompa con i bagni ed il trasportatore convogliando i pezzi attraverso la macchina li sottopone ai getti dei vari bagni.

#### **Macchine automatiche - Con trasportatore piano a tappeto e tamburo rotante, con trasportatore aereo a « pater-noster » e mono-rotaria.**

Le macchine automatiche sono quelle, discontinue o continue, spesso fornite di trasportatore, che eseguono l'intero ciclo di operazioni senza alcun intervento da parte dell'uomo.

Solo il caricamento e lo scaricamento possono essere fatti manualmente. Molte volte le macchine sono messe in linea con altri trasportatori, od attrezzate con speciali dispositivi di carico e scarico, così da escludere qualsiasi intervento manuale.

I trasportatori possono raggrupparsi in due differenti categorie:

— Piani

— Aerei.

La scelta di un trasportatore dipende generalmente dalla forma e dalle dimensioni del pezzo, e dal modo con il quale il pezzo deve essere caricato sul trasportatore: in cestelli, alla rinfusa, in posizione obbligatoria.

I trasportatori piani sono tra i più usati ed hanno il grande vantaggio di permettere il caricamento dei pezzi direttamente sul trasportatore, alla rinfusa.

Essi possono essere costituiti da un semplice piano a rulli, a gravità o con rulli motorizzati; più spesso esso è realizzato mediante un tappeto di rete a maglia sciolta, di dimensioni e luce adeguate alle dimensioni dei pezzi.

Per pezzi molto pesanti si co-

struiscono trasportatori formati da barrette o telai, ancorati su due lati opposti a due catene trasportatrici.

Tra i trasportatori piani è da considerare anche il trasportatore a tamburo rotante, adoperato per il trattamento alla rinfusa di viterie, bullonerie e minuterie metalliche.

Internamente ad un tamburo cilindrico è fissata una coclea: facendo ruotare il tamburo, i pezzi contenuti in esso sono costretti dalla coclea a muoversi lungo il tamburo da una estremità all'altra. Durante questo movimento i pezzi si sfregano gli uni contro gli altri così che insieme al lavaggio viene effettuata anche una leggera burattatura.

I trasportatori aerei possono essere del tipo a « pater-noster », con percorso a sali-scendi eseguito in piani verticali molto adatto specialmente per impianti ad immersione. Oppure possono essere del tipo scorrente su monorotaia pensile, con catena trasportatrice che permette di eseguire percorsi sviluppati sia in piani orizzontali che in piani verticali. Questi ultimi trasportatori sono maggiormente impiegati e si dimostrano molto adatti per pezzi di grandi dimensioni, come parti di carrozzeria di auto, mobili metallici, frigoriferi, ecc. Spesso vengono adoperati gli stessi trasportatori installati nei reparti ed adibiti anche per altre funzioni.

#### Macchine transfert - Con programmatori meccanici.

Una categoria particolare ed assai interessante di macchine lavatrici è rappresentata dalle macchine transfert, ultime arrivate in questo campo.

Esse sono state impiegate con successo specialmente nell'industria motoristica per il lavaggio di testate o basamenti motore.

Queste macchine sono costituite da più unità indipendenti, disposte in serie, in ognuna delle quali viene compiuta una delle operazioni del ciclo; completa la macchina il sistema che provvede al trasferimento dei pezzi da un elemento all'altro.

Queste macchine hanno analogia con le macchine transfert im-

piegate nelle lavorazioni meccaniche.

Come queste, anch'esse sono praticamente dimensionate per un certo tipo di pezzo che deve essere fornito alla macchina sempre allo stesso modo, e compiono automaticamente le operazioni del ciclo secondo un programma preordinato.

Nelle macchine transfert tutti i movimenti sono realizzati con l'ausilio dell'energia pneumatica od oleodinamica, secondo le tecniche più progredite in questo campo. È possibile inserire dei programmi meccanici per la rotazione o la vibrazione dei pezzi e per l'innesto di ugelli nelle condotte, ecc.

#### Casi concreti - Macchine e prodotti impiegati.

Accenneremo ora di seguito ad alcuni casi caratteristici, incontrati nella pratica costruttiva.

— *Lavaggio di bullonerie e viterie:* per questi problemi sono sempre da preferire macchine a tamburo rotante, del tipo descritto precedentemente.

Un caso pratico è rappresentato dal lavaggio all'uscita dalla vasca di raffreddamento in olio dopo tempera, prima dell'ingresso nel forno di rinvenimento. I due forni, di tempera e di rinvenimento erano disposti in serie ed i pezzi venivano portati fuori del bagno di olio mediante un trasportatore a tappeto. Il problema fu risolto inserendo tra il trasportatore ed il forno di rinvenimento una macchina a tamburo rotante, dotata di due tramogge: una nella zona di carico che riceveva i pezzi dal trasportatore a tappeto per convogliarli all'interno del tamburo rotante, ed un'altra nella zona di scarico mediante la quale i pezzi uscendo dal tamburo rotante venivano immessi nel forno di rinvenimento.

Il ciclo attuato nella macchina era il seguente:

— Sgrassaggio con soluzione alcalina all'1 %, temperatura =  $60^{\circ} \div 65^{\circ}\text{C.}$ , durata =  $1'30''$ .

— Risciacquo con acqua, temperatura ambiente, durata =  $30''$ .

— Asciugatura mediante circolazione di aria alla temperatura di  $110^{\circ}\text{C.}$ , durata di  $3'$ .

Tanto lo sgrassaggio che il risciacquo erano effettuati a spruzzo.

Riscaldamento: mediante vapore d'acqua saturo a 2 atm.

Produzione: 450 Kg./h. circa.

— *Lavaggio di carrozzerie di automobili:* questo problema si è presentato ad una nota industria motoristica, che effettua in Italia il montaggio di automobili di produzione estera.

Le varie parti che compongono la carrozzeria arrivavano direttamente dalla Casa costruttrice ricoperte da grassi per protezione anti-ruggine. Questi elementi di carrozzeria dovevano essere fosfati ed in seguito verniciati.

Si richiedeva oltre che uno sgrassaggio anche una protezione superficiale dei pezzi, di valore limitato, perchè essi, dopo lo sgrassaggio, potevano permanere diverse ore (a volte anche un'intera giornata) nei magazzini di reparto prima di essere fosfati.

Questo problema è stato risolto con una macchina a trasportatore aereo che esegue il ciclo seguente:

— Sgrassaggio con prodotti alcalini, concentrazione 1 %, temperatura =  $70^{\circ}\text{C.}$ , durata =  $50''$ .

— Risciacquo con soluzione passivante, concentrazione 0,3 %, durata =  $50''$ .

— Asciugatura mediante circolazione di aria alla temperatura di  $110^{\circ}\text{C.}$ , durata =  $3'$ .

Riscaldamento: mediante gas propano alla pressione di 1 atm. Produzione: 200 ganci portapezzi/h.

— *Lavaggio di manufatti in alluminio:* i pezzi da lavare erano barattoli di alluminio, dopo lo stampaggio e prima della verniciatura finale.

La parte più interessante di questo problema è rappresentata dallo studio del trasportatore.

Questo venne realizzato mediante barrette collegate su due lati opposti a due catene di tipo galle, disposte parallele. Sulle barrette furono applicati supporti porta-pezzo ad asse verticale, sui quali venivano infilati i pezzi da lavare. Il ciclo effettuato a spruzzo era il seguente:

— Sgrassaggio alcalino, concen-

trazione 1 %, temperatura =  $70^{\circ} \div 75^{\circ}\text{C.}$ , durata =  $2'30''$ .

— Risciacquo con acqua calda, temperatura =  $50^{\circ} \div 55^{\circ}\text{C.}$ , durata =  $1'30''$ .

— Soffiaggio d'aria ad alta pressione prodotta da ventilatore centrifugo, temperatura ambiente, durata =  $15'' \div 20''$ .

— Asciugatura mediante circolazione di aria alla temperatura di  $110^{\circ}\text{C.}$ , durata =  $3'30''$ .

Il soffiaggio era necessario per scacciare dal fondo concavo dei barattoli le pozzette di liquido formatesi.

Produzione: 3.000 barattoli/h.

Riscaldamento: mediante gas metano alla pressione di 500 mm. di colonna d'acqua.

— *Sgrassaggio di stampati di lamiera di piccole dimensioni:* questo problema si è presentato ad un'industria costruttrice di apparecchi radio e televisori, la quale doveva sgrassare tutti i particolari vari in lamiera stampata prima del trattamento galvanico.

La necessità di ottenere un grado di pulizia il più possibilmente elevato, orientò la soluzione verso uno sgrassaggio con solventi clorati.

Venne stabilito il ciclo seguente:

— Sgrassaggio per immersione in vapori di solvente alla temperatura di  $87^{\circ}\text{C.}$ , durata =  $1'$ .

— Risciacquo e contemporaneo raffreddamento dei pezzi per immersione in solvente in fase liquida a temperatura ambiente, durata =  $30''$ .

— Risciacquo finale per immersione in solvente bollente alla temperatura di  $87^{\circ}\text{C.}$ , durata =  $1'$ .

Venne costruita una macchina a trasportatore aereo a « pater-noster », sulle quale i pezzi venivano caricati alla rinfusa in cestoni di rete zincata.

Il trasportatore tuffava successivamente i cestoni in tre distinte vasche corrispondenti ognuna ad una delle fasi del ciclo sopra accennato, faceva percorrere ad essi una zona refrigerata per effettuare l'essiccazione dei pezzi, ed infine li portava nell'unica zona di carico e scarico.

#### Essiccazione - Problemi, fonti di riscaldamento e meccanizzazione.

L'operazione finale di un ciclo di lavaggio è nella maggioranza dei casi l'asciugatura dei pezzi.

L'uso di solventi clorati rende molto facile questa operazione, che avviene per evaporazione del solvente a causa del calore immagazzinato dai pezzi nelle precedenti operazioni.

Nelle macchine che impiegano solventi clorati è sempre prevista una zona di essiccazione dove sono fatti sostare i pezzi prima di essere scaricati. (Vedere ultimo esempio del paragrafo precedente). Questa zona è refrigerata, in modo che i vapori di solvente sviluppati dai pezzi siano condensati e possano essere recuperati.

L'essiccazione dei pezzi lavati con solventi organici avviene a temperatura ambiente per evaporazione spontanea del solvente, ed è effettuata generalmente dopo lo scarico dei pezzi, fuori dalle macchine lavatrici che perciò non sono attrezzate per compiere questa operazione.

L'essiccazione può essere agevolata mediante soffiaggio di aria ad alta pressione prodotta da ventilatori centrifughi, eseguito nella macchina; od anche mediante soffiaggio di aria compressa eseguito manualmente mediante pistola soffiatrice, o nella macchina mediante appositi organi soffiatori.

Il soffiaggio serve anche per scacciare dalle superfici dei pezzi pozzette di liquidi eventualmente formati in cavità, fori ciechi, ecc.

Il lavaggio alcalino invece rende necessario di asciugare i pezzi in un forno di essiccazione.

Nelle macchine discontinue l'essiccatoio è costituito da un elemento a sè, di capacità proporzionata alla produzione ed alla durata dell'asciugatura, al quale sono avviati i pezzi dopo l'ultima operazione del ciclo di lavaggio.

I forni di asciugatura degli impianti continui sono posti invece di seguito al tunnel di lavaggio ed attraversati dallo stesso trasportatore: la macchina compie interamente tutto il ciclo di operazioni, asciugatura compresa e scarica pezzi lavati ed asciutti.

Gli essiccatoi possono essere del genere a convezione e quindi con circolazione di aria calda che lambisce le superfici dei pezzi da asciugare; oppure ad irraggiamento con lampade a raggi infrarossi o pannelli radianti, riscaldati mediante gas combustibile.

Le fonti di calore usate per il riscaldamento sono quelle tradizionali e cioè:

- vapor d'acqua saturo;
- vapor d'acqua surriscaldato;
- gas di città;
- metano;
- gas propano;
- nafta;
- elettricità.

Le varie voci sono indicate secondo un ordine che è basato su un criterio economico, cioè passando dal vapore all'elettricità i costi delle installazioni ed i costi di esercizio variano dal minimo al massimo.

Il riscaldamento mediante elettricità risulta il più costoso tra tutti i mezzi accennati, ed è sempre da scartarsi a meno di esigenze particolari.

L'elettricità è spesso l'unica fonte di calore esistente negli stabilimenti, ma non per questo gli impianti devono essere costruiti per utilizzare l'elettricità per riscaldamento.

Un'analisi accurata dei costi conclude nella maggioranza dei casi che è molto più conveniente provvedere un'altra fonte di calore, anche soltanto per le esigenze dell'impianto di lavaggio. A seconda dei casi potrà installarsi una caldaia, od una linea di distribuzione di propano alimentata con proprio serbatoio, od allacciare lo stabilimento alle reti di distribuzione del gas di città o del metano.

#### Parte seconda: PROTEZIONE E TRATTAMENTO SUPERFICIALE

##### Decapaggio - Scopi e problemi.

Il decapaggio si può definire come l'operazione mediante la quale si ripristina lo stato originario delle superfici dei pezzi metallici ricoperte da ossidi, ruggine, ecc.

Il decapaggio dei materiali ferrosi per via chimica, è condotto mediante un attacco acido.

Le più usate a questo scopo sono soluzioni acquose di  $H_2SO_4$  in concentrazioni tra il 10÷20 % e temperature comprese tra i 50° ed i 70°C.; oppure soluzioni acquose di HCl tra il 5 ed il 15 % e temperatura ambiente: tutte queste soluzioni acide contengono sempre inibitori.

I manufatti alluminio o leghe di alluminio, vengono invece decapate mediante soluzioni alcaline, aventi un Ph molto forte (maggiore di 12), a temperatura ambiente ed a 60°÷70°C. a seconda dei casi.

Il decapaggio deve essere sempre preceduto da uno sgrassaggio e da un risciacquo, allo scopo di non inquinare con grassi, olii, ecc., il bagno decapante.

In commercio esistono diversi prodotti a base di solventi organici ed acidi, mediante i quali è possibile sgrassare e decapare contemporaneamente. Questi prodotti hanno un impiego limitato, perchè limitati sono il loro potere detergente e la loro capacità di decapare.

#### Tipi di macchine e materiali da impiegare.

A causa dei prodotti usati, il decapaggio acido crea difficili problemi nella scelta e nell'impiego dei materiali da costruzione per le parti che devono venire a contatto con il decapante o con suoi vapori.

I decapanti alcalini invece non presentano alcuna difficoltà per i materiali, e possono essere impiegati i normali acciai da costruzione.

Il decapaggio acido crea un'altra limitazione ancora nei tipi di impianti che possono essere usati.

Normalmente vengono costruite soltanto macchine discontinue, per trattamento ad immersione: in pratica semplici vasche ad immersione.

Le soluzioni di acido solforico permettono di impiegare per la costruzione delle vasche (entro determinati limiti di temperatura e concentrazione) acciai inossidabili tipo AISI 316.

Normalmente però la costruzione è effettuata con vasche di ferro

rivestite di piombo internamente e in tutte quelle superfici che possono venire in contatto, anche accidentalmente, con le soluzioni acide o con vapori di esse.

Altre volte il rivestimento è effettuato con materiali plastici tipo polietilene o cloruro di polivinile, i quali hanno però una limitazione nella temperatura, potendo essere usati solamente per temperature inferiori ai 50°÷55°C.

Talora, specialmente per impianti di grosse dimensioni, si usano vasche in muratura, rivestite con piastrelle di gres ceramico.

Le soluzioni di acido cloridrico limitano ancora di più il campo dei materiali, ed in pratica gli unici ad essere usati sono i rivestimenti plastici od il rivestimento con gres.

#### Fosfatazione - Scopi e problemi.

Lo fosfatazione è un trattamento chimico operato su acciaio, ferro, zinco, alluminio, il quale consente di rivestire le superfici metalliche con uno strato continuo di fosfati, cristallino od amorfo, che conferisce alle superfici stesse particolari proprietà dipendenti dal modo di esecuzione del trattamento e dal ciclo di operazioni seguito.

Lo strato fosfatico deriva dalla reazione delle superfici metalliche con soluzioni acide di fosfati metallici, portate in loro contatto, ed ha uno spessore variabile a seconda dei casi da 0,1÷0,2 micron a 20 micron.

La fosfatazione ha tre campi particolari di impiego:

— Proteggere le superfici metalliche dalla corrosione, impedendo la formazione di ruggine ed il suo propagarsi;

— Formare uno strato superficiale che serva da ancoraggio alle vernici;

— Diminuire l'usura da attrito tra superfici in movimento relativo tra di loro.

#### Fosfatazione anti-ruggine fine a se stessa.

Il rivestimento fosfatico anti-ruggine è suscettibile di assicurare da solo un'ottima protezione nel tempo.

La protezione è tanto più effi-

cace quanto più spesso è lo strato: gli spessori variano normalmente tra i 6 ed i 20 micron.

La proprietà anti-ruggine è migliorata eseguendo una oleatura delle superfici fosfatate, oppure una anneritura seguita da oleatura, la quale conferisce ai pezzi anche un ottimo aspetto estetico.

L'oleatura viene effettuata per immersione in emulsioni acquose od in soluzioni in trielina di speciali olii anti-corrosivi emulsionabili.

L'anneritura è praticata invece per immersione in nigrosina a freddo od in soluzione acquosa di anneritore all'ematina alla temperatura di 80°÷90°C.

Una proprietà particolare dello strato fosfatico è data dal fatto che, se per cause accidentali si ha formazione di ruggine in un punto qualsiasi della superficie rivestita (scalfittura dello strato fosfatico, superficie non convenientemente preparata, ecc.), la corrosione non si propaga ma è localizzata nel punto dove si è iniziata.

I prodotti impiegati creano rivestimenti a base di fosfato di manganese e fosfato di ferro, oppure fosfato di zinco e fosfato di ferro.

La protezione è praticamente uguale con tutti e due i tipi, ma i più impiegati sono i prodotti allo zinco, principalmente perchè portano ad un minore costo di tutto il trattamento.

#### Fosfatazione per ancoraggio delle vernici.

Numerose prove eseguite su campionature di pezzi fosfatati e verniciati, e l'esperienza di ormai molti anni hanno dimostrato che la fosfatazione è il metodo migliore per la preparazione delle superfici alla verniciatura.

Il rivestimento fosfatico, uniformemente disposto su tutta la superficie e saldamente aderente ad essa, costituisce un ottimo sottofondo per la presa della vernice, mentre la porosità dello strato rende possibile l'assorbimento di una certa quantità di vernice.

Le proprietà anti-ruggine sono richieste anche in questo caso per salvaguardare dalla corrosione le superfici verniciate.

Specialmente necessaria si ri-

vela quella proprietà caratteristica della fosfatazione che impedisce l'estendersi della corrosione localizzandola nel punto dove essa si forma, evitando l'invecchiamento e l'usura delle superfici verniciate a causa del distacco della vernice.

Lo spessore del rivestimento non è mai rilevante in questo caso, essendo esso solamente un sottofondo ad un successivo strato protettivo.

Gli spessori variano in genere tra 1 e 5 micron.

È necessario in questo tipo di fosfatazione che gli strati siano sufficientemente elastici ed aderenti alle superfici, in modo che essi possano seguire senza screpolature tutte le deformazioni che può subire il sottostante metallo.

Nella fosfatazione pre-verniciatura vengono impiegati prodotti che portano alla formazione di fosfati di ferro e di zinco.

#### Fosfatazione anti-usura.

La fosfatazione viene impiegata anche per ridurre l'usura tra le superfici di pezzi in movimento relativo tra loro.

Questo tipo di fosfatazione è specialmente applicato nel campo automobilistico e motoristico: praticamente vengono fosfatati tutti i pezzi sottoposti a frizione, come pistoni, alberi a camme, bilancieri, leve, punterie, pignoni dei differenziali, ingranaggi del cambio.

Il rivestimento impedisce il contatto tra le superfici metalliche, a causa della sua porosità può assorbire e mantenere incorporata una certa quantità di lubrificante, e deformandosi sotto pressione diminuisce gli sforzi, rivelandosi in tal modo molto vantaggioso durante il periodo di rodaggio.

I fosfatanti anti-usura producono un rivestimento a base di fosfati di ferro e manganese, di spessore tra i 10 ed i 15 micron.

Completa il trattamento una oleatura dei pezzi, praticata per immersione in comuni olii lubrificanti.

#### Tipi di macchine e cicli di trattamento.

Le macchine usate per la fosfatazione sono analoghe a quelle che abbiamo visto per il lavaggio.

Anche in questo caso abbiamo impianti continui o discontinui, per trattamento a spruzzo od immersione.

Tra gli impianti discontinui sono molto diffusi quelli formati da semplici vasche corrispondenti ognuna ad una delle fasi del ciclo, disposte l'una di seguito all'altra secondo la sequenza dei trattamenti.

Lo spostamento dei pezzi da una vasca all'altra viene fatto o manualmente o per mezzo di parranco elettrico.

Tra gli impianti continui i più diffusi (praticamente i soli ad essere usati) sono quelli a trasportatore aereo, a « pater-noster » per il trattamento ad immersione, mono-rotaria per i trattamenti a spruzzo.

I cicli di fosfatazione sono formati sempre da una numerosa serie di fasi, perchè insieme alla fosfatazione è necessario compiere altre operazioni ausiliarie, di pre-trattamento o post-trattamento.

Le superfici da fosfatate devono essere perfettamente pulite, e ciò rende necessario uno sgrassaggio talvolta seguito da un decapaggio acido.

Lo sgrassaggio può essere effettuato sempre con solventi clorati.

Nel caso di fosfatazione anti-ruggine e pre-verniciatura si può effettuare inoltre con sgrassanti alcalini; mentre nella fosfatazione anti-usura non è possibile usare questo tipo di lavaggio ed i pezzi possono essere sgrassati soltanto con solventi clorati od organici.

Molto spesso, subito prima della fase di fosfatazione si usa pre-riscaldare i pezzi in modo da introdurli già caldi nel bagno di fosfatazione.

Questa operazione è fatta allo scopo di impedire un raffreddamento del bagno, che deve mantenersi in limiti di temperatura molto ristretti, oltrecchè essere necessaria perchè l'introduzione di pezzi freddi produce strati fosfatici di fragilità ridotta.

Dopo la fosfatazione è necessario risciacquare abbondantemente i pezzi con acqua fredda.

Dopo questo primo risciacquo, di regola se ne esegue un altro con acqua calda leggermente acidulata con prodotti a base di acido cromico.

Tale operazione, detta comunemente passivazione, potenzia la resistenza del rivestimento alla corrosione, impedendo la precipitazione sulle superfici di sali di calcio e magnesio (che potrebbero favorire l'inizio di una corrosione elettrolitica) ed effettua praticamente una passivazione delle superfici diminuendo il grado di porosità dello strato fosfatico.

I pezzi fosfatati devono essere sempre essiccati, con uno dei metodi visti nella precedente parte.

Nella fosfatazione pre-verniciatura questa è l'operazione finale del ciclo dopo la quale i pezzi possono essere inviati all'impianto di verniciatura.

Nella fosfatazione anti-ruggine all'essiccazione segue l'oleatura oppure l'anneritura e quindi l'oleatura.

Nella fosfatazione anti-usura la essiccazione precede il trattamento finale di oleatura con olio lubrificante.

Molto spesso la fosfatazione pre-verniciatura può essere effettuata con un ciclo ridotto, nel quale si esegue contemporaneamente lo sgrassaggio e la fosfatazione. I prodotti usati sono a base di solventi organici e di prodotti fosfatanti.

#### Casi concreti ed esempi.

Anche gli esempi che seguono, come quelli portati nella prima parte, sono casi concreti incontrati nella pratica costruttiva.

#### — Fosfatazione pre-verniciatura di pezzi di piccole dimensioni:

I pezzi da fosfatate erano particolari diversi di altoparlanti.

Venne realizzato un impianto a trasportatore aereo, nel quale i pezzi venivano trattati appesi a speciali telai trasportatori.

Il ciclo praticato è il seguente:

— Sgrassaggio a spruzzo con soluzione alcalina alla temperatura di 80°÷90°C., per la durata di 2'30".

— Risciacquo a spruzzo con acqua fredda abbondantemente rinnovata per la durata di 1'.

— Fosfatazione a spruzzo con soluzione a temperatura ambiente, per la durata di 3'.

— Risciacquo a spruzzo con acqua alla temperatura ambiente, per la durata di 1'.

— Passivazione a spruzzo con soluzione passivante a temperatura ambiente, per la durata di 3'.

— Asciugatura in forno a circolazione di aria calda alla temperatura di 115°C., per la durata di 4'.

Il riscaldamento è effettuato mediante gas metano.

La produzione della macchina è di 850 pezzi/h., per una velocità del trasportatore di 0,8 mt./1'.

Un particolare interessante è rappresentato dall'impianto di lavaggio della sezione di fosfatazione, nel quale furono previsti speciali ugelli spruzzatori posti in particolari posizioni per poter dirigere il loro getto in determinati punti critici delle superfici dei pezzi da fosfatate.

— Fosfatazione anti-usura di ingranaggia varia:

Questo problema fu incontrato in una nota Industria automobilistica. Si dovevano fosfatate tutti i vari ingranaggi, cambio differenziale, ecc., di una determinata serie di autoveicoli.

Fu realizzato un impianto con trasportatore a « pater-noster », nel quale i pezzi venivano trattati caricati in speciali cestelli contenitori.

Il ciclo realizzato era il seguente:

— Sgrassaggio alla temperatura di 40°C., per la durata di 12'.

— Risciacquo con acqua a temperatura ambiente per la durata di 4' e 30''.

— Pre-riscaldamento in acqua calda alla temperatura di 70°C., per la durata di 2'.

— Fosfatazione alla temperatura di 70°C., per la durata di 12'.

— Risciacquo con acqua abbondantemente rinnovata a temperatura ambiente per la durata di 1' e 30''.

— Passivazione alla temperatura di 40° ÷ 50°C., per la durata di 1' e 30''.

— Essiccazione mediante circolazione di aria calda alla tempera-

tura di 100° ÷ 110°C., per la durata di 7'.

— Oleatura per immersione in olio lubrificante a temperatura ambiente, per la durata di 1'.

Tutte le varie fasi del trattamento sono eseguite ad immersione.

Il riscaldamento è a vapore saturo alla pressione di 4 atm.

La produzione della macchina è di circa 600 Kg./h. di materiale vario.

— Fosfatazione di particolari di lamiera stampata:

Questi particolari erano vari elementi formanti armadi frigoriferi.

I pezzi dovevano subire una fosfatazione pre-verniciatura. L'operazione di verniciatura non veniva però eseguita subito dopo la fosfatazione ed i pezzi venivano immagazzinati per periodi variabili da 1 a più giorni.

Lo fosfatazione quindi doveva fornire anche una efficace protezione anti-ruggine.

L'impianto costruito fu un impianto in vasche con traslazione dei pezzi da una vasca all'altra mediante paranco elettrico scorrente su una mono-rotaia.

I pezzi erano agganciati a speciali telai a loro volta appesi al gancio del paranco.

Essendo trattati particolari provenienti direttamente dallo stampaggio, si rendeva necessario effettuare prima della fosfatazione oltre allo sgrassaggio anche un decapaggio acido.

Il decapaggio venne effettuato con soluzione acquosa di acido solforico e la vasca di decapaggio venne costruita in ferro rivestita internamente con piombo.

Il ciclo realizzato fu il seguente:

— Sgrassaggio alcalino alla temperatura di 80° ÷ 90°C., per la durata di 10'.

— Risciacquo con acqua alla temperatura ambiente, per la durata di 1'.

— Decapaggio con soluzione acquosa di acido solforico alla concentrazione del 15 % e temperatura di 60°C., per la durata di 15'.

— Risciacquo con acqua a temperatura ambiente, per la durata di 1'.

— Pre-riscaldamento mediante immersione in acqua calda alla temperatura di 80°C., per la durata di 1'.

— Fosfatazione alla temperatura di 80° ÷ 85°C., per la durata di 10'.

— Risciacquo con acqua alla temperatura ambiente, per la durata di 1'.

— Passivazione alla temperatura di 70° ÷ 75°C., per la durata di 1'.

— Essiccazione in forno con circolazione di aria alla temperatura di 110°C., per la durata di 10'.

Il riscaldamento delle vasche era con acqua surriscaldata alla temperatura di 140°C., e pressione di 9 atm.

Il riscaldamento della vasca di decapaggio venne eseguito con serpentino immerso in tubo di piombo.

La produzione dell'impianto era di 10 telai/h. corrispondenti a circa 500 Kg./h. di materiale vario.

**Conclusione e dibattito eventuale su richiesta dei congressisti.**

Data la limitatezza di spazio e di tempo è stato molto difficile fare una relazione completa ed esauriente in tutta la casistica ricorrente nelle Aziende.

Crediamo tuttavia di avere accennato a tutti i problemi che si presentano quando il lavoro ci porta a considerare un caso determinato di pulizia e trattamento di organi meccanici.

Se il lettore desidera chiarire i dubbi che gli saranno sorti nell'esaminare la relazione ed approfondire determinati problemi riferentesi a casi concreti nei cicli produttivi della sua azienda, gli autori restano a disposizione per un dibattito in sede congressuale oppure post-congressuale, lieti di poter fornire nuovi elementi e materiale documentario.

Il lettore pertanto è invitato a predisporre delle memorie che saranno esaminate durante il Congresso.

Guido Colnaghi - Elvio Flaminio

# Detergenti chimici

GUIDO MARCIANDI e PAOLO DE CERMA illustrano il meccanismo d'azione di detergenza degli sgrassanti alcalini usati per la pulitura delle lamiere metalliche.

*Sgrassanti alcalini.*

All'atto della utilizzazione delle lamiere di metallo, oltre agli agenti protettivi di rivestimento (liquidi: olii minerali, vegetali, animali; solidi: grassi minerali, cere, olii di catrame, grassi e cere animali) è da allontanare dalla superficie anche il sudicio di varia natura, che si è accumulato nelle varie fasi durante la lavorazione.

Tale sudicio può essere costituito da:

1) polvere di rettifica e pulitura;

2) composti a base di grafite nelle operazioni di tracciatura e composti fondenti per saldatura;

3) ossidi ed altri composti formati sulla superficie del metallo;

4) sporco e polvere di immagazzinamento.

Quindi il rivestimento totale da asportare durante il processo di pulitura, è una combinazione varia di tali materiali.

Gli sgrassanti usati allo scopo si possono suddividere in:

a) sgrassanti alcalini in polvere solubili in acqua;

b) sgrassanti a base di petrolio;

c) sgrassanti a base di solvente in emulsione capaci di diluirsi con acqua;

d) solventi idrocarburici clorurati (tetracloruro di carbonio, percloro etilene, trielina ecc.);

e) pulitori acidi.

Esponiamo succintamente il meccanismo d'azione di detergenza degli sgrassanti alcalini, che sono i più largamente usati, anche perchè sono economici e principalmente perchè asportano appunto una larga gamma di grassi e sporchie.

Essi trovano impiego in ogni tipo di sgrassaggio di materiale, eccetto i casi in cui, logicamente, i metalli sono sensibili all'azione degli alcali.

L'azione di detergenza può essere la seguente:

1) saponificazione dei materiali grassi mediante neutralizzazione degli acidi grassi con formazione di saponi solubili in acqua;

2) emulsionamento dello sporco presente e degli olii;

3) distacco dei grassi e dello sporco per azione di tensioni superficiali ed interfacciali.

In linea teorica dovrebbero essere le caratteristiche dello sporco a decidere sulla scelta della composizione del detergente, nel senso che se l'ingrasso contiene una forte proporzione di materie saponificabili, lo sporco sarà tolto più facilmente con una soluzione altamente alcalina, mentre se lo sporco ha poca o niente materia saponificabile, allora sarà necessario un'azione emulsionante.

In generale le caratteristiche essenziali che un buon sgrassante alcalino dovrebbe possedere sono le seguenti:

a) essere completamente e facilmente solubile in acqua;

b) essere efficace in concentrazioni basse;

c) essere chimicamente stabile al magazzinaggio ed al calore;

d) essere capace di « bagnare » nel minor tempo possibile il metallo;

e) possedere alto potere emulsionante e buon potere antiridipositante dello sporco;

f) non produrre vapori od esalazioni irritanti.

Inoltre deve essere economico e facile da asportare.

In generale l'efficienza del trat-

tamento è in dipendenza del grado di alcalinità della soluzione. Perchè la soluzione alcalina sia sempre operante, il ph deve essere sufficientemente alto, onde saponificare rapidamente i grassi e neutralizzare i materiali acidi presenti quasi sempre nelle sostanze protettive.

In molte operazioni di pulitura, il ph 10 è il limite più basso per una operazione efficiente di sgrassaggio.

L'alcalinità ottima generalmente è espressa in numeri di quantità di acido che può essere aggiunta alla soluzione alcalina fino a ridurre il ph della stessa a 10.

Molte soluzioni alcaline appena preparate posseggono un ph variabile da 13 a 14.

L'efficienza della pulitura è fortemente ridotta quando il ph scende sotto il 10.

Nelle determinazioni analitiche della alcalinità per praticità si sceglie spesso il ph 8,3, in quanto questo è il ph di viraggio della fenofalina.

La alcalinità totale è determinata con una soluzione acida standard, usando come indicatore il metil arancio.

Lo sgrassante alcalino può spiegare la sua azione tensioattiva per l'azione dei saponi che si sono formati durante l'operazione di sgrassaggio, ma questa sua azione può essere anche potenziata con l'aggiunta di sostanze altamente tensioattive. Queste ultime devono possedere la caratteristica molto importante di produrre il minor volume di schiuma possibile, perchè la presenza di una notevole quantità di schiuma porterebbe gravi inconvenienti nelle applicazioni a spruzzo e talvolta pure nelle applicazioni ad immersione. A tale scopo vengono aggiunti di proposito alcuni composti che esercitano una notevole azione antischiiumogena.

Nell'operazione di sgrassaggio

(come in ogni operazione di detergentenza) ha importanza la temperatura. Le temperature nei bagni di sgrassaggio vanno da 70° a 100°: più alta la temperatura più veloce sarà l'azione di lavaggio, però i metalli non ferrosi si ossidano assai più presto a temperature alte.

Se l'operazione di sgrassaggio viene effettuata mediante immersione, si può operare in vasche a liquido fermo, riscaldate sia direttamente che indirettamente: i tempi vanno di solito dai 7 ai 15 minuti di effettiva immersione.

Meglio però è aggiungere all'azione chimica anche un'azione meccanica (per esempio mediante pompe od insufflazione di aria) che facilita con il movimento la asportazione dello sporco.

Nel caso di impianti a spruzzo, la temperatura deve essere sempre mantenuta elevata, spruzzando a pressione di almeno 1,5 atmosfere e con getti piuttosto consistenti e non eccessivamente nebulizzanti: la durata del trattamento va dai 2 ai 5 minuti per materiali normalmente unti.

I bagni impiegati perdono, naturalmente, di efficacia nel corso dello sgrassaggio e devono quindi essere convenientemente rinforzati.

Dopo la sgrassatura, i materiali trattati devono essere risciacquati scrupolosamente, con acqua calda o fredda, molto pulita, in modo da eliminare completamente le ultime tracce di sporco.

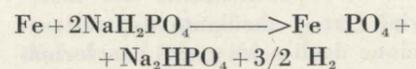
Si può affermare che non si può avere una buona sgrassatura senza un buon risciacquo.

#### Sgrassanti - Passivanti.

Tra gli sgrassanti per metalli è opportuno inserire una categoria di prodotti ad azione polivalente, da alcuni anni apparsa sul mercato.

Si tratta dei cosiddetti « sgrassanti - passivanti » od anche « sgrassanti - fosfatanti ». Tali prodotti sono formulati a somiglianza degli sgrassanti alcalini, ma si distinguono nettamente da

questi perchè lavorano a ph leggermente acido (ph 4-6,5; normalmente ph 5-6). Poichè la componente inorganica è sostanzialmente costituita da ortofosfati e fosfati complessi, si verifica, contemporaneamente all'azione sgrassante alla quale partecipano i normali coadiutori di natura organica (bagnanti, emulsionanti, solventi, ecc.), una reazione chimica tra il metallo trattato e la soluzione. Per esempio nel caso del ferro e del fosfato monosodico:



Si forma così sulla superficie del metallo sgrassato uno strato protettivo costituito sostanzialmente di fosfati e ossidi del metallo base. Tale strato, di spessore compreso tra 0,1 e 0,5 micron non si può considerare un vero e proprio rivestimento ma la sua efficacia protettiva è però sufficiente a risolvere alcuni problemi inerenti alla lavorazione dei manufatti metallici. Citiamo qualche caso dei più comuni.

Nella lavorazione dei particolari di un complesso, p. es. parti di motore, capita spesso che alcune serie debbano venire sgrassate e poi fatte stazionare in attesa del montaggio o di altre operazioni. Operando con i normali sgrassanti alcalini è facile che si verifichi un inizio di ossidazione, mentre impiegando i prodotti descritti il materiale può stazionare per lungo tempo senza deteriorarsi.

Un caso analogo riguarda la lavorazione delle lamiere: inserendo a monte della linea di lavorazione un trattamento sgrassante - passivante, si può poi far seguire il normale ciclo di lavoro, comprese le operazioni di saldatura, senza pericolo che durante la lavorazione si verifichi un arrugginimento del materiale; così per esempio dovendo procedere allo stampaggio di serie di particolari è possibile stoccare le serie in attesa del montaggio senza pericolo di dover poi affrontare delle spese per disossidare il materiale prima

dei cicli di finitura (verniciatura ecc.). Infatti è da tener presente che il trattamento descritto costituisce già di per sé un'ottima preparazione alla verniciatura, ma comunque non ostacola eventuali altri trattamenti chimici od elettrolitici di finitura in quanto lo strato di fosfati ed ossidi può facilmente venir eliminato mediante un breve trattamento acido od alcalino.

In poche parole si può concludere che gli sgrassanti - passivanti offrono la soluzione più razionale ed economica tutte le volte che si abbia necessità di far stazionare in reparto, stoccare a magazzino o spedire materiali sgrassati e non sia possibile o desiderabile effettuare un vero e proprio trattamento di finitura chimico od elettrolitico.

Poichè il potere sgrassante dei prodotti descritti è necessariamente inferiore a quello dei normali sgrassanti alcalini, tali prodotti vengono usati normalmente a spruzzo perchè l'azione meccanica del getto ne aumenta l'efficacia e permette di realizzare uno sgrassaggio completo nei tempi molto brevi oggi disponibili (1-3'). L'impiego ad immersione diventa possibile solo nel caso di materiali molto debolmente unti o presgrassati.

L'impiego a spruzzo si effettua in impianti ad una fase quando il materiale da trattare non sia eccessivamente unto e sia possibile lavorare a concentrazioni di 0,1 - 0,5 %; quando invece si debba lavorare a concentrazioni superiori (0,3 - 1 %) è consigliabile adottare un ciclo a due fasi, facendo seguire un lavaggio con acqua, per evitare che sui pezzi sgrassati diventino visibili dei depositi salini.

Cicli più complessi, a 3 o 4 fasi, si adottano quando il trattamento viene effettuato come preparazione alla verniciatura. La trattazione più approfondita di questa particolare applicazione esula però dall'argomento della presente nota.

Guido Marciandi e Paolo de Cerma

## Appunti di un architetto per un facile avvicinamento a qualche problema di estetica e di architettura: dalle origini a ieri

ROBERTO GABETTI riassume alcuni aspetti del problema del gusto in architettura. Dopo averne brevemente illustrato i caratteri, ricerca un rapporto teorie estetiche e architettura, per alcune epoche meglio definite storicamente, mettendo in evidenza la viva eredità dei trattatisti. Il periodo preso in esame è limitato alle soglie del presente (dalla problematica in gran parte « condensa »): qualche riferimento bibliografico può servire al lettore per un più facile avvicinamento a questioni generali e particolari.

Conoscere per fare: per non ridurre l'azione quotidiana a semplice attivismo, anche un architetto dovrebbe, con metodica ricerca, inquadrare i propri interessi contingenti in quelli più larghi, della sua « arte »: bisogna infatti che il suo operare sia in continuo rapporto con le istanze della civiltà contemporanea, e la sua cultura ne approfondisca gli aspetti essenziali. Questa ricerca di ogni età, è particolarmente necessaria negli anni della giovinezza, quando occorre inquadrare il proprio sviluppo psichico e morale e riesaminare la propria vocazione: studiare per diventare architetto, richiede un impegno di reit totale, che occorre sia assunto in piena coscienza.

Sotto questo punto di vista, la vicinanza ai problemi dell'estetica architettonica, non deriva esclusivamente dal desiderio di giungere ad una lettura critica di edifici di oggi o di ieri (finalità già essenziale, se si considera che ogni tipo di progettazione è necessariamente condizionato da una indagine storica, metodicamente svolta), ma può o deve anche essere interna alla stessa formazione: servirà allora ad orientare un interesse, focalizzare una ricerca.

Occorre rilevare, specie in architettura, una specifica corrispondenza fra estetica, ed operosità artistica: problema, spesso accennato per casi singoli, ma raramente inquadrato in una visione di assieme. Importa ricordare quanto sia assurdo il tentativo di fondare una estetica « definitiva ». Come l'economia, l'estetica non è una assoluta categoria dello spirito: il suo significato è invece nella storia, in rapporto diretto con la storia della filosofia da un lato, e con l'operosità degli artisti dall'altro.

Come arte, l'architettura non può essere considerata categoria autonoma dalle altre arti (poesia, prosa, pittura, scultura): nè questa continuità di rapporti va negata, per le difficoltà proprie dell'architettura. Infatti ogni opera, appartenente a ciascuna delle citate arti, deriva da un processo creativo svolto personalmente (o collettivamente) dall'artista, non al di qua, ma al di là di qualsiasi abilità tecnica o perfetta scienza: il processo diverso, ma comune, interessa il canto del negro piantatore di cotone, o l'unità di Marsiglia di Le Corbusier.

Non esistono chiari confini fra le arti, nè occorre tracciarli, poichè si rischia di isolarne una o più componenti, dalla radice comune: quella di cui l'estetica necessariamente si occupa. Alcune definizioni dell'architettura sono invece importanti; sia per tracciare un quadro tipico (e di per sé già parziale) di quest'arte, sia per farne intendere (specie a scopi didattici) alcuni caratteri ritenuti peculiari: così le distinzioni spazio esterno e spazio interno, fondamentali per la cultura architettonica contemporanea, non devono indurre qualche critico quasi sottile ad impostare ragionamenti inutili e capziosi<sup>(1)</sup>. Non ci si deve fermare su problemi di poco senso: è arte il prodotto industriale, è arte la fotografia? Nessun critico dev'essere troppo schizzinoso: offendersi, ad esempio, se le sue categorie, ben organizzate e analiticamente definite, non riescono ad abbracciare l'intera attività umana: per una erronea fissità critica, ogni uomo sarebbe impedito di modulare la

<sup>(1)</sup> BESSET M., *Eiffel*, Milano 1957 (sul problema: se i ponti di E. siano o meno opere di architettura).

sostanza, per dire qualcosa, per essere cioè, nel suo modo, artista.

L'architettura dovrebbe infatti raccogliere in una larga unità tutte le arti a tre dimensioni, o più vagamente spaziali, destinate con franca accezione, spiritualmente e materialmente all'uomo.

Ed, in primis, l'urbanistica, quando non si limiti alla semplice indagine economica sociologica tecnica, ma ne svolga gli assunti, in una definizione completa e sintetica di spazi destinati alla vita dell'uomo. Il che può talvolta avvenire in gradi diversi: infatti anche l'attuazione architettonica, che pare risposta completa, non è però inderogabile o fissa, operazione ben delimitata nel tempo: ma va dal progetto, alla fine dei lavori, all'arredo, all'impiego che si fa, nel tempo, sia dell'edificio singolo, sia del complesso.

Il pubblico dice: « l'arte è universale », « deve essere capita direttamente, senza corsi di introduzione o di avvicinamento ». Che l'arte sia universale è vero, che sia però necessario individuare una base convenzionale o logica, per adire alla « ulteriore » comprensione dell'opera stessa, è però sempre vero: dobbiamo leggere tradotta, una poesia scritta in una lingua che non conosciamo, nè possiamo capire le stesse arti figurative di popoli di cui nulla sappiamo, e con i quali non abbiamo niente in comune. Come questa pretesa « immediata adesione » sia lanciata e rilanciata da chi è ignorante, o difende l'ignoranza altrui, è cosa risaputa, ed è anche risaputo come artisti « non artisti », chiusa la loro opera in un preconcetto ermetismo, sperino di essere considerati poeti.

Così, capire e far capire una architettura, richiede un paziente

riepilogo di componenti economiche, di usi abitativi, di concezioni sociali, di significati (aulici o meno), di tradizioni costruttive e architettoniche locali ecc. da far perdere la pazienza, anche al lettore più attento. Nè il critico di architettura può essere incoraggiato a queste analisi, dal desiderio di una comprensione « completa » del problema, che non esiste, nè può esserci: poichè il linguaggio dell'arte, divenuto poetico, può essere spiegato e illustrato, ma non sostituito da procedimenti o indagini di tipo scientifico o para-scientifico.

Dal dollmen alla chiesa barocca, notiamo infinite dosature nella scelta operata dall'artista, o dagli artisti, delle componenti più vive del linguaggio contemporaneo: e lo stile può essere grave, incisivo, aperto, elegante: per comprenderne i moti ed il carattere occorre una educazione particolare. Le scuole abitano fin troppo alla critica letteraria: chi ha fatto il liceo può affrontare con qualche competenza la lettura di testi classici, con una certa autonomia critica. Molto problematica è invece la moderna educazione alla visione: la critica di tipo crociano o postero-ciano, applicata alle arti figurative, ha dato risultati veramente notevoli, specie in Italia, anche in rapporto ad un più acuto interesse ai problemi di estetica: in architettura invece per alcune notevoli difficoltà intrinseche, non si è giunti alla formazione o almeno alla diffusione di un linguaggio critico comune: l'attuale revisione è solo accennata in rari studi recentissimi.

Se dalla fase critica di lettura intorno ad opere di architettura si passa a quella attiva, dell'operare artistico, occorre premettere come il termine stesso di educazione, svilito dalla Accademia, abbia perso con gli anni vitalità e contenuto; ma è morto quindi con la tradizione accademica, un corpo di dottrine forse meno importanti per le arti figurative, ma essenziale invece per la formazione dell'architetto. Contribuiva in

questo senso la coscienza di un malinteso progresso dell'estetica del primo novecento, che portava a rigettare, in nome di una illuminata conoscenza del « vero » problema artistico, studi di teorici e di filosofi, e a mandare in soffitta, le opere dei trattatisti; pareva infatti indulgessero a distinzioni inutili e sottili, nocive alla comprensione chiara dell'opera d'arte, avvicinando più facilmente attraverso personali indagini intuitive. Si era poi col tempo persa la difficile chiave di quel linguaggio antico: la conoscenza delle teorie architettoniche passate era ormai considerata sterile bagaglio di specialisti.

Nella filosofia greca è presente il concetto che l'architettura (« arte tettonica ») introduca la forma nella superficie della materia; tale indirizzo darà un significato preciso alla ricerca classicista. Così l'architettura non è da confondere con le altre attività pratiche della costruzione, ma sovrasta le arti liberali e meccaniche, come la metafisica sovrasta le scienze speculative, morali e attive (2). Anzi l'idea che i greci avevano dell'architettura, era così chiara e forte, da farne argomento per la comprensione di problemi propriamente filosofici; nell'architettura veniva individuata non l'imitazione delle cose, ma la cosa in sè, attraverso una esaltazione di valori, autonomi ormai dalla imitazione stessa, cioè astratti (3). Che questo concetto dell'architettura servisse ai filosofi per surrogare, esemplificandoli, discorsi di metafisica dimostra che nei loro discepoli era ben fissa l'idea architettonica del tempio greco ed i suoi caratteri essenziali.

La più tarda trattatistica roma-

(2) ENRICO STEFANO, *Platonis opera*, Parigi 1578, traduzione italiana di E. Turrola, Milano 1953.

(3) Specialmente importante sul problema dell'arte come imitazione (che non comprende l'architettura) è in ARISTOTELE, *L'etica Nicomachea* (a cura di A. Carlini, Bari 1913); ricordo per riferimenti utili *La Metafisica* (a cura di A. Carlini, Bari 1928), *Poetica* (a cura di M. Valgimigli, Bari 1934), *Politica* (a cura di V. Costanzi, Bari 1925).

na, riprende i testi dei filosofi greci, anche a proposito di architettura, calcando però sulla parola « fabrica » (pratica costruttiva) distinta da « ratiocinatio » (esercizio teorico, concetto). I successivi schemi vitruviani (4) hanno un forte contenuto didattico; non sono infatti, se pazientemente interpretati, macchinoso gioco logico, ma esposizione sistematica di ricerche svolte sul vivo della materia costruttiva, sulla sua più vasta problematica, funzionale e compositiva. L'architetto guida, già definito esattamente dai greci (5), diventa presso i romani il competente ad alto livello: colui che non può essere il più esperto in tutti i problemi, nè fare ogni cosa da solo, nel modo migliore, ma che deve conoscere i caratteri intrinseci di ogni istanza spirituale e funzionale, e tradurla in progetto conducendo poi l'edificio a termine, con grande competenza, anche teorica, dei singoli problemi costruttivi (6).

I testi rinascimentali, per una precisa impostazione dell'architettura stessa del '400 e '500 italiano, riprendono i testi vitruviani (7). L'architettura diventa così emanazione dell'unità delle scienze e delle arti (8).

« L'esperienza (cioè diremmo

(4) VITRUVIO M., *De Architectura* (a cura di Silvio Ferri, Roma 1960). Cfr. (per i trattatisti classici e rinascimentali): LUKOMSKII G. K., *I maestri dell'architettura classica da Vitruvio allo Scamozzi*, Milano 1933 (con estesa bibliografia).

(5) Il problema è stato poeticamente reinterpretato da: P. VALÉRY, *Eupalinos ou l'architecte*, Paris 1923.

(6) Cfr. « proemio » del trattato di Vitruvio.

(7) I primi filosofi cristiani trattarono a volte dell'architettura (S. AGOSTINO, *De vera religione* e San Tommaso); ma in modo specializzato il problema fu ripreso per la prima volta nell'oscuro trattato di L. B. ALBERTI, *De re aedificatoria libri decem*, Firenze 1485.

(8) PALLADIO A., *I quattro libri dell'architettura*, Venezia 1570 (la *regina virtus* è rappresentata, come idea centrale dell'Accademia Trissiniana, proprio nel frontespizio di questa prima edizione). Cfr. SERLIO, *I sette libri dell'architettura*, Parigi 1540 e per la moderna bibliografia: WITTKOWER R., *Architectural principles in the age of humanism*, London 1949.

press'a poco: la contemplazione, l'indagine critica) è simile all'orma che ci dimostra la fiera: come questa serve a ritrovare il cervo, ma non è il cervo, perchè questo non è composto di orme, così l'esperienza è il principio di capire le arti, e non a parti di alcuna opera d'arte: la stessa opera d'arte è « quell'artificio o lavoro che resta cessando l'operatoria dell'artista, o finita o non finita che essa sia »; infatti specie un'opera di architettura non può dirsi immutabile e cristallizzata, ma aperta a successive possibilità. L'architettura non è « fabrica »: questa è piuttosto « continuato pensiero dell'uso », « frequentato pensiero per indirizzare le cose a fine conveniente »: la « fabrica » è madre dell'architettura, padre è il discorso (l'idea). Considerazioni che vorrei avvicinare al nucleo della più attuale critica architettonica (9).

Così si sviluppava il concetto che l'idea della forma rende il progettista puro scientifico, la considerazione del sito, delle materie, della destinazione, puro artefice: la sintesi è opera precisa dell'architetto (10).

Con il settecento, e più ancora con l'ottocento, per lo scadere crescente dell'impegno rappresentativo nelle opere dei maggiori architetti, e per una attenuata forza logica, corrispondente a ricerche talora marginali o sottili, i trattati assumono caratteri di sintesi schematica: si accentua presso il Bertotti (11) l'uso del termine « buon gusto », abusato già in Francia, ed interno alla problematica di Hogarth (12); proprio

(9) BARBARO, *I dieci libri dell'architettura tradotti e commentati*, Venezia 1576.

(10) SCAMOZZI V., *Idea dell'architettura universale*, Venezia 1687 (nell'introduzione vi sono innumerevoli citazioni classiche).

(11) BERTOTTI O. (Scamozzi), *Le fabbriche e i disegni di A. Palladio*, 1766-1783; il primo trattato divulgativo è però quello di BAROZZI DA VIGNOLA, *Regola delli Cinque Ordini di Architettura*, Roma 1562.

(12) HOGARTH W., *The analysis of Beauty*, 1783; ARGAN G. C., *Le idee estetiche di Hogarth*, English Miscellany, 1950.

il « buon gusto » ci introduce nel secolo borghese.

Si è ormai in tema di romanticismo: nell'estesa « querelle » (13) emerge la distinzione di due correnti, che sono due scelte: *classicismo*, *romanticismo*. Nella fase *classica* si cerca di imporre un tipo, uno scheletro, cui subordinare necessità funzionali e tecniche: il dominio della forma sulle cose è traduzione di immagini astratte, cristallizzate dalle combinazioni geometriche e dalle leggi compositive. Nella fase *romantica* l'operatore artistico si basa sulla interpretazione di desideri, di aspirazioni talora intimi attraverso procedimenti, che hanno il carattere essenziale della sincerità, e diventano forma attraverso la conoscenza delle questioni tecniche e distributive: le opere di architettura sono esaltazione di qualità morali e di caratteristiche tecnologiche (14). La fase classica tende a dare forma a simboli, la fase romantica è talvolta incline a manifestare i problemi dell'inconscio, dell'irrazionale, dell'istinto. Come queste due fasi siano tuttora presenti nella nostra cultura, erede diretta di quella non esaurita « querelle », è stato dimostrato anche a proposito dell'architettura (15). Servono queste distinzioni a indagare alcuni contraddittori aspetti della nostra civiltà tettonica. L'esaltazione di qualità tecniche va spesso ben oltre l'assunto: per un eccesso romantico, la dimostrazione straripa, l'architettura diventa oratoria.

Dopo Vittone (16), con crescen-

(13) Per i teorici fra settecento ed ottocento, cfr. E. KAUFMANN, *Architecture in the age of reason*, Cambridge 1955 (con completa bibliografia).

(14) Interessanti sono particolarmente in questo senso le opere di Schopenhauer (CAVOTTI A., *La vita e il pensiero di A. Schopenhauer*, Torino 1909).

(15) C. MOLLINO, *Prolozione ai Corsi*, Politecnico di Torino, Bona, 1954; altre opere: ID., *Schemi linguistici nell'architettura*, Torino, Bona, 1953; ID., *Vedere l'architettura*, Agorà, Torino, n. 8, 9, 10, 11; ID. e VADACCHINO, *Architettura - Arte e Tecnica*, Torino, Chiantore, s.d.

(16) VITTORE B., *Istruzioni elementari dell'Architettura Civile*, Torino, 1760; ID., *Istruzioni Diverse*, Torino, 1766.

te frequenza il paragone fra musica e architettura viene condotto da critici e filosofi per tutto l'ottocento, fino ad oggi. Il parallelo, che è fra i più impalpabili ed astratti, non ha mai giovato ad una chiara comprensione dei nostri problemi: già all'inizio era nato come tentativo di isolare musica e architettura dalle altre arti figurative, per le quali si riteneva valido il canone di imitazione della natura. Le leggi di armonia, rappresentate schematicamente, sono state isolate nelle due arti non figurative, trascurando invece le loro componenti intrinseche, non rappresentabili da una semplice ricorrenza di ritmi.

Non si è mai tentato invece, anche solo a scopi didattici, di avvicinare il romanzo all'architettura, specie per l'epoca moderna: che proprio per la commistione estesa di esigenze umane e tecniche, per la adesione ai problemi della realtà, per le necessità organizzative di una ricerca non univoca, ma ampia e corale, hanno molti punti comuni. Che poi l'ispirazione venga, sedendosi ogni mattina alla stessa ora al tavolo di lavoro (Flaubert) può servire anche per gli architetti, (del resto già Scamozzi ricordava che per progettare occorre mettersi all'opera a tempo adatto, col polso quieto e il bell'agio che temprava l'anima: beato lui).

I germi più vivi della architettura contemporanea, fin dall'epoca dei « pionieri », si sviluppavano proprio in seno alla corrente romantica: da Labrouste (ancora così vestito di misure auliche), a Viollet le Duc (17) (grande teorico romantico, che razzolò spesso male), al suo allievo de Baudot, ai grandi ingegneri come

(17) VIOLLET LE DUC, *Dictionnaire Raisoné de l'Architecture Française du XI au XVI siècle*, Paris; ID., *Dictionnaire Raisoné du Mobilier Français de l'époque Carov. à la Renaissance*, Paris, 1868; ID., *Entretiens sur l'Architecture*, Paris, 1863. Per l'estetica romantica, cfr.: BAUDELAIRE CH., *Scritti di Estetica*, Firenze, 1948; DE SANCTIS E., *Saggi critici*, Bari, 1953; RUSKIN J., *Lecture on Architecture* (addende VI) *Preraphaelitism*, London, 1906 (con completa bibliografia intorno a J. R.).

Contamin, Eiffel, Hennebique: a loro, alle loro ricerche non imbrigliate da canoni, si devono i migliori progressi, non solo tecnici, ma interni alla maturazione stessa del gusto moderno. Invece la reazione classicista europea, manifestatasi sempre in Italia dall'800 in poi e specie durante il fascismo, pensò di legare ancora l'architettura alla autorità degli ordini: quando Ogetti avvertiva gli architetti che abolendo le colonne e gli archi si poteva insinuare che « per le sole mura bastavano gli ingegneri », diceva una cosa esatta, proprio senza saperlo: gli interessi della nostra civiltà erano necessariamente per le mura; ed erano vitali, come gli ingegneri, proprio gli architetti, che non affermavano più l'autorità dei canoni stilistici. Emerse però già allora, in campo opposto, nella nuova scuola razionalista, un rigorismo positivista, intrinsecamente conservatore: un rigorismo che preferiva la didattica ripetizione di una cultura acquisita ed affermata, e che evita ancora oggi l'indagine libera, intonando la ricerca critica e operativa ad una freddezza, una cautela, che nascondono la sostanziale impotenza. Si preferisce tutt'al più inventare attorno alla cultura architettonica, una serie di rebus, o brevetti, totalmente disinseriti dalla civiltà costruttiva, slegati dalle contingenze pratiche, volgari se si vuole, ma essenziali per la vitalità interna di un'opera architettonica.

Così parecchi problemi posti in sede d'arte personale, di ricerca artistica talora astratta ed assoluta, furono colti come teoria e scienza, e diffusi in una didattica oscura, quale può essere dedotta dai testi di Wright e di Le Corbusier: che, come teorici, illustrarono con vitalità splendida alcune ragioni interne al loro operare ed alcune intuizioni fondamentali, ma anche gli estesi limiti delle loro vere intenzioni,

dei loro processi operativi, delle loro finalità sociali.

Ancora una volta gli scritti degli architetti (che una volta si chiamavano, per la loro chiara organizzazione mentale, trattati) illustrano una visione del mondo, utile a indagini critiche; per difficoltà intrinseche dell'architettura, queste non possono essere subito dedotte da astrazioni teoriche o dalla frettolosa visione di un edificio: fra tutte le opere d'arte un'architettura sarà sempre quella di più difficile lettura. Si può infatti confondere il giudizio storico, con quello morale, basarsi su di un esteriore puro visibilismo o affidarsi invece ad una indagine esclusivamente positivista. Occorre anzi notare come proprio il positivismo, che influisce ben poco sulla critica d'arte in generale, informò intrinsecamente molta critica architettonica, dell'800 e del '900: con indagini più o meno acute e preconcetti più o meno confessati. Così che ancora oggi, nel quadro delle arti, l'architettura fa la parte della « falsa savia ». Si propongono quindi forme artistiche valide attraverso il puro calcolo; si delira di fronte ad un solido di ugual resistenza (che ha il concreto aspetto di un oggetto di natura), a solai isostatici, sperando siano severamente dedotti dalla scienza delle costruzioni, e si ignorano invece le implicazioni tecnologiche del problema, che rende talora queste strutture vere opere d'arte, quali possono essere, e cioè non prodotti di un indifferente determinismo.

All'opposto il desiderio di svincolare l'architettura dal regno sospeso delle « Unfreiende Künste », per riportarla regina sopra le arti artigianali, voleva considerare solo nell'architetto, il sublime artista delle tre dimensioni: il pubblico, l'utente, la società sono molto lontani da queste astrazioni. L'arte di quegli anni (e non solo l'architettura), non

mori, ma impazzì di amore orgoglioso (Gide).

Proprio lo stesso Croce, nel volere esemplificare, come Platone, problemi filosofici attraverso paragoni tratti dall'architettura, notava, negli « Ultimi Saggi » come in molte discipline mancasse in quel periodo una forza, un'organizzazione interna essenzialmente maschile, che doveva essere ritenuta propriamente architettonica; ironizzò anzi, sul caso limite, della donna-architetto. Croce insisteva quindi sulla necessità che l'architettura avesse alla base un ideale di rivolgimento etico della vita sociale, che si poteva ottenere soltanto con il concorso di tutte le forze storiche presenti (18).

Ma siamo ormai alle soglie di una estetica dell'architettura contemporanea, condanna o quasi: da Paci a G. della Volpe. Il dialogo è aperto ai problemi degli architetti, e degli scrittori di architettura. La « critica del gusto », in architettura, ha bisogno di ulteriori indagini, di basi rinnovate.

In questa ricerca si può fidare soltanto su di una coscienza precisa e chiara: assoluta forse come la misura del metro di Parigi, necessario per prevenire ogni truffa, ma non rappresentabile in un'asta di prezioso metallo.

La vasta fenomenologia dell'architettura deve impegnare teorici e professionisti in un dialogo aperto e vivace: « engagé » anche, secondo un termine neanche più così nuovo.

Roberto Gabetti

(18) Opere di Croce in ordine cronologico: CROCE B., *Problemi di Estetica e contributo allo studio dell'estetica italiana*, Bari, 1940; *Breviario di Estetica*, 1912; *Nuovi Saggi di Estetica*, Bari, 1920; *Aesthetica in nuce*, 1927; *Ultimi Saggi*, Bari, 1935. Per la critica crociana v. anche VITALE S., *L'estetica dell'Architettura*, Bari, 1928; BOTTARI S., *La critica figurativa e l'estetica moderna*, Bari, 1925. Cfr. con GENTILE G., *Filosofia dell'arte*, Firenze, 1930.

N.B. - Per alcuni problemi inerenti l'architettura, cfr. « Rivista di Estetica », Torino, 1956-1962.