

CAPITOLO XI

MACCHINE DI PROVA PER I MATERIALI DA COSTRUZIONE. APPARECCHI PER LA MISURA DI SPOSTAMENTI E DI DEFORMAZIONI (*)

1. Generalità sulle prove di laboratorio e sulle macchine di prova.

Sottoporre a prova un materiale significa eseguire in laboratorio una o più esperienze, intese alla determinazione di una proprietà del materiale stesso, interessante ai fini del suo impiego. Una prova di laboratorio, relativa ad un materiale da costruzione, può essere classificata in base alle esigenze che ne motivano l'esecuzione: essa può configurarsi come una *prova di scelta* se, tra vari materiali, occorre fissare quello che meglio risponde alla funzione cui è destinato; può avere come oggetto il verificare, all'atto della consegna, la rispondenza della qualità del materiale ad una prescrizione fissata in base a considerazioni sulle modalità di impiego: si tratta allora di una *prova di controllo*. Si può infine eseguire una prova per determinare una costante del materiale, della quale fare uso nei calcoli, o per confermare i risultati previsti dalla teoria, o ancora per studiare il comportamento di un nuovo materiale o di una nuova struttura: si parla in questo caso di *prova di ricerca*.

Oggetto dell'esperienza eseguita in laboratorio può essere la ricerca di una proprietà *geometrica*, quale l'area della sezione di un profilato metallico o la granulometria di una ghiaia, di una proprietà *fisica*, come il peso specifico di una pietra naturale o la permeabilità di un conglomerato, o *chimica*, ad esempio il contenuto di sali solubili di un laterizio. L'esperienza può infine riguardare la determinazione di una *caratteristica meccanica* del materiale, e cioè di una particolare proprietà fisica che contribuisce a definire il comportamento del materiale stesso nei riguardi delle azioni alle quali sarà sottoposto in ragione del suo impiego: tali possono ad esempio considerarsi l'indice di resistenza all'usura di un ma-

(*) Capitolo redatto dal Prof. Ing. Eugenio Bruzzese.

teriale per pavimentazione, o la capacità dei materiali laterizi a sopportare l'azione delle basse temperature.

Di particolare importanza sono quelle grandezze meccaniche che definiscono la possibilità di impiego di un materiale nella costruzione di strutture soggette a stati di deformazione e di tensione derivanti da forze ad esse applicate, o da altre azioni esterne: queste grandezze possono riguardare il comportamento elastico del materiale, se si tratta di costanti come il modulo di elasticità normale, o di contrazione trasversale, oppure possono servire alla valutazione delle sue capacità di resistenza, come accade per il carico unitario di rottura e di snervamento a trazione od a compressione e per le altre caratteristiche meccaniche che rendono operanti i criteri di sicurezza. L'insieme delle prove intese a determinare le grandezze meccaniche del tipo ora indicato fanno parte della pratica corrente di laboratorio e vengono eseguite, in molti casi secondo norme codificate, impiegando apposite macchine, lo studio delle quali costituisce l'oggetto del presente capitolo.

La scelta di un materiale od il controllo della sua rispondenza alle esigenze di impiego raramente può farsi basandosi su prove che riproducono le effettive condizioni nelle quali il materiale verrà adoperato; generalmente si adotta il criterio di fissare alcune qualità di riferimento, facili a determinarsi sperimentalmente, convenendo di rapportare ad esse le altre che il materiale deve possedere. Queste proprietà, definite da valori numerici, costituiscono i *requisiti di accettazione* del materiale, e spesso sono fissate da norme che indicano anche le prove di laboratorio che si devono eseguire per confrontare i risultati con i requisiti stessi. Nel caso dei materiali da costruzione, sono di fondamentale importanza, ai fini dell'accettazione e dell'impiego, i valori assunti da alcune delle caratteristiche meccaniche sopra indicate; la prova di laboratorio consiste in questo caso nel condurre un'esperienza normalizzata su di un provino di forma prescritta, ricavato dal materiale in esame.

Ad esempio le *Norme italiane per l'accettazione dei leganti idraulici*, attualmente in vigore, prescrivono, tra gli altri requisiti di accettazione di un cemento, i valori minimi delle tensioni di rottura a trazione ed a compressione, ottenute con prova in regime monoassiale, rispettivamente su cubo e su provino piatto a doppia testa; i provini devono essere confezionati con malta di cemento e sabbia di prefissate caratteristiche (*malta normale*) e vanno sottoposti a prova dopo determinati periodi di stagionatura, come si rileva dalla seguente tabella che riporta i valori prescritti dalle norme citate, per le caratteristiche meccaniche di cui sopra [in parentesi sono indicati i valori previsti dal *Progetto di Norme per l'accettazione dei leganti idraulici*, proposto dal *Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)*]:

Tipo di cemento	a) b) c)			a') (b') c')			d)		
Giorni di stagionatura	7	28		3	7	28	1	3	28
Resistenza a trazione su malta normale (Kg/cm ²)	26	32		21	31	37	27	32	42
Resistenza a compressione su malta normale (Kg/cm ²) .	380	500		290	500	680	350	375	750
	(400)	(520)		(300)	(520)		(375)	(600)	

a) b) c) indicano rispettivamente il cemento Portland, pozzolanico e d'alto forno; a') b') c') indicano rispettivamente gli stessi tipi di cemento, ma ad alta resistenza; d) si riferisce al cemento alluminoso.

Talvolta le norme forniscono, oltre che la prescrizione di alcuni requisiti, anche una classificazione del materiale, indicandone i limiti di impiego in funzione del risultato numerico della prova di laboratorio. Un esempio è fornito dal *Progetto di Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato*, compilato dal CNR: i conglomerati cementizi sono suddivisi in quattro classi distinte dal valore, espresso in Kg/cm², della tensione di rottura a compressione, a 28 giorni di stagionatura, ottenuta con prova monoassiale su provino cubico. Si distinguono le quattro classi R 180, R 250, R 350, R 475, per ciascuna delle quali vengono fissati i valori ammissibili della tensione tangenziale e di quella normale di compressione, per gli stati di sollecitazione corrispondenti alla pressione semplice, in assenza di fenomeni di instabilità laterale, ed alla flessione e presso-flessione.

Numerose caratteristiche meccaniche dei materiali metallici vengono rilevate nel corso della prova a trazione che è tra quelle più ricorrenti nella pratica di laboratorio. Dalle tabelle UNI (*Unificazione Italiana*) n. 556 Ed. 1962 si riportano alcune delle caratteristiche determinabili con la prova suddetta e le relative definizioni:

Allungamento percentuale permanente è la variazione della lunghezza tra i segni di riferimento incisi sulla provetta, sottoposta prima ad una tensione prescritta, e quindi scaricata. Questa variazione è espressa in per cento della lunghezza iniziale tra i riferimenti.

Allungamento percentuale dopo rottura A è l'allungamento $L_u - L_0$, misurato tra i riferimenti dopo rottura, espresso in per cento della lunghezza iniziale L_0 tra i riferimenti

$$A = 100 \frac{L_u - L_0}{L_0},$$

dove L_u rappresenta la lunghezza a rottura, misurata dopo aver riportato accuratamente a contatto i due frammenti della provetta (fig. 11-1 a relativa a materiali ferrosi e fig. 11-1 b per i materiali non ferrosi).

Coefficiente percentuale di strizione Z è il rapporto percentuale tra la variazione di sezione trasversale $S_0 - S_u$, verificatasi nel corso della prova, e la sezione iniziale S_0 .

$$Z = 100 \frac{S_0 - S_u}{S_0} .$$

Esso prende il nome di *allungamento percentuale di strizione* A_z se la variazione $S_0 - S_u$ è riferita alla sezione finale dopo rottura S_u , e rappresenta, nel caso di provetta a sezione circolare, l'allungamento unitario relativo alla sezione più contratta, ove si accetti l'ipotesi che, in corrispondenza della stessa sezione, il volume di un cilindro di lunghezza infinitesima rimanga costante durante la deformazione.

Carico massimo F_m è il carico più grande sopportato dalla provetta nel corso della prova (fig. 11-1 a, b); il rapporto F_m/S_0 fornisce il *carico unitario di rottura* o *resistenza a trazione* R_m .

Carico ultimo F_u è il carico sopportato dalla provetta al momento della rottura.

Carico di snervamento F_s è quello per il quale l'allungamento della provetta aumenta per la prima volta senza che il carico aumenti, oppure quando il carico diminuisce (fig. 11-1 a). Il *carico unitario di snervamento* R_s è fornito dal rap-

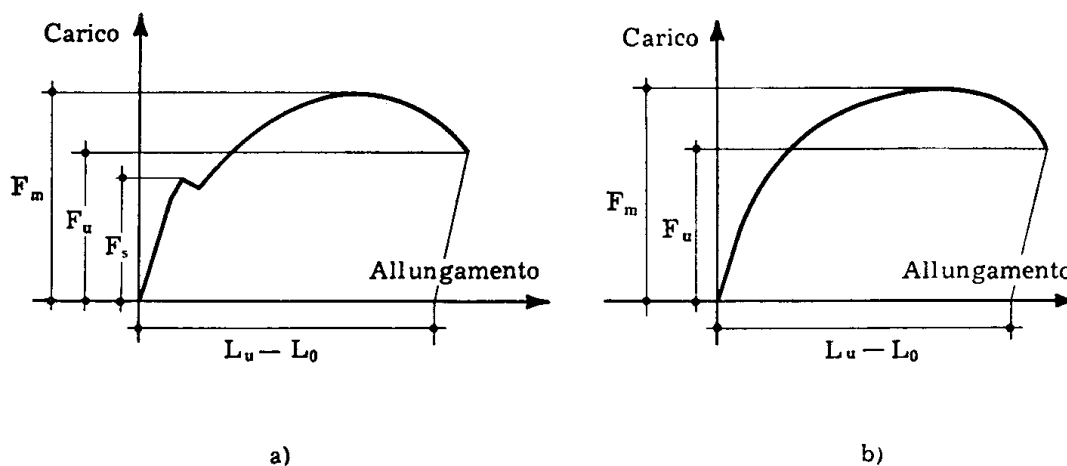


FIG. 11-1

porto F_s/S_0 ; qualora si osservi effettivamente una caduta dello sforzo, il carico unitario così definito prende il nome di *carico unitario di snervamento superiore*; il carico unitario di snervamento inferiore corrisponde al carico più basso osservato subito dopo.

Carico unitario limite di deformazione permanente R_r è quello al quale corrisponde, dopo soppressione del carico, un allungamento permanente prescritto, espresso in per cento della lunghezza iniziale tra i riferimenti. Il valore richiesto è normalmente dello 0,2 % (fig. 11-2 a). Il simbolo R_r è seguito da un indice che precisa la percentuale prescritta della lunghezza iniziale tra i riferimenti; ad esempio: $R_{r(0,002)}$, $R_{r(0,01)}$, $R_{r(0,2)}$.

Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità R_p è quello al quale corrisponde un allungamento non proporzionale pari ad una percentuale prescritta della lunghezza L_0 (fig. 11-2 b); il simbolo R_p è seguito da un indice che precisa la percentuale suddetta; ad esempio $R_{p(0,002)}$, $R_{p(0,01)}$, $R_{p(0,2)}$.

Non tutte le caratteristiche meccaniche ora elencate sono utilizzate per classificare il tipo e la qualità di un materiale. Le tabelle UNI classificano ad esempio i prodotti di acciaio laminato a caldo, come i profilati, le barre e le lamiere, fa-

cedo riferimento soltanto ai valori della resistenza a trazione R_m , del carico unitario di snervamento R_s e dell'allungamento percentuale dopo rottura A , oltre che ai risultati della prova di piegamento e resilienza ed a quelli delle analisi chimiche di colata.

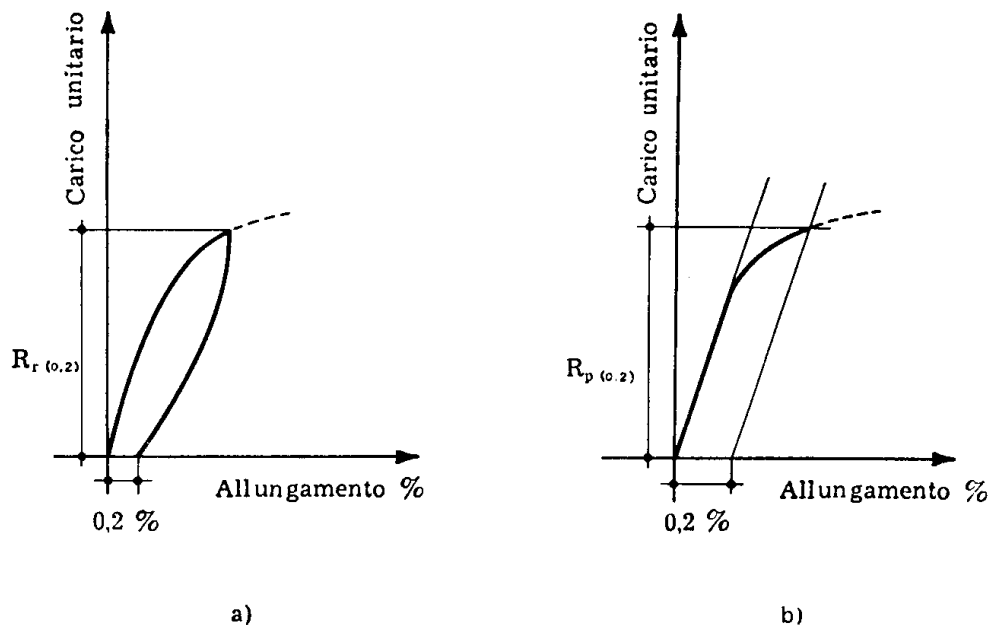


FIG. 11-2

Le Norme per l'impiego delle strutture in cemento armato precompresso richiedono per i fili di acciaio la determinazione di numerose altre caratteristiche meccaniche, tra le quali il carico unitario di scostamento dalla proporzionalità allo 0,1 % ed allo 0,2 % ($R_{p(0,1)}$, $R_{p(0,2)}$) ed il modulo di elasticità apparente, inteso come rapporto tra la tensione media e la dilatazione corrispondente, valutato per l'intervallo di tensione compreso tra lo 0,1 e lo 0,4 del carico di rottura R_m .

Le macchine di prova per i materiali da costruzione sono apparecchi capaci di generare, in un provino del materiale da esaminare, uno stato di deformazione e di tensione; dipendentemente dalla possibilità di guidare,

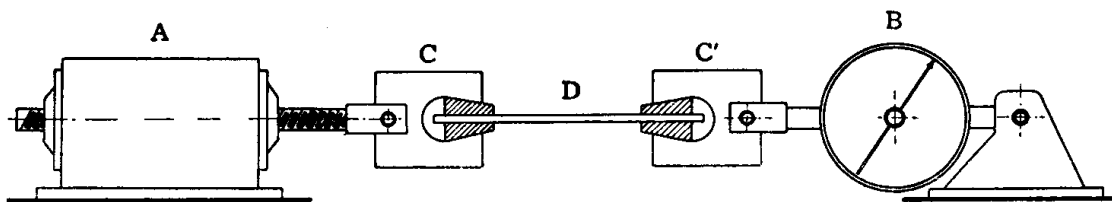


FIG. 11-3

durante la prova, la deformazione del provino od il carico applicato, quindi lo stato tensionale, esse possono suddividersi in dispositivi a *deformazione imposta* o a *carico imposto*.

In entrambi i casi, la macchina è essenzialmente costituita (fig. 11-3)

da un meccanismo A che genera il carico di prova e da un apparecchio B che lo misura (*dinamometro*); tra queste due parti è disposto il sistema C, C', che fissa alla macchina il corpo D da sollecitare: quest'ultimo è soggetto da una parte allo sforzo esercitato dal generatore, e dall'altro alla reazione sviluppata dal dinamometro.

La macchina, così schematicamente descritta, può fornire soltanto il carico di snervamento e quello di rottura del provino; se invece occorre conoscere la legge che lega la deformazione al carico applicato, sarà necessario disporre di un apparecchio misuratore della deformazione che può far parte della macchina, o essere costituito da un dispositivo indipendente che viene fissato al provino all'atto della prova.

Nel sistema costituito dal provino e dalla macchina disposti in serie, la funzione carichi-deformazioni può essere notevolmente influenzata dalle caratteristiche della macchina, in particolare quando la legge di deformazione del provino non è più quella elastica; si possono considerare due casi limiti tra i quali sono compresi tutti gli altri corrispondenti al reale comportamento di una macchina di prova:

a) il provino, raggiunto il carico di snervamento, si deforma spontaneamente senza influire sulla grandezza del carico applicato; il periodo delle deformazioni plastiche è caratterizzato da un tratto orizzontale del diagramma forze-allungamenti, come accade se il carico è costituito da un peso direttamente applicato: è il caso della macchina *infinitamente elastica*;

b) si supponga che il provino, raggiunto il limite di snervamento, resti fissato tra due punti a distanza invariabile e quindi il periodo plastico si verifichi a lunghezza costante (*rilassamento*); si avrebbe in questo caso una caduta di carico, senza ulteriore aumento della deformazione, rilevabile sul diagramma forze-allungamenti per la presenza di un tratto verticale: è il caso della macchina *infinitamente rigida*.

In realtà, ogni macchina è dotata di elasticità finita ed ha quindi la proprietà di accumulare energia di deformazione che, se liberata nel corso della prova, può influire su di essa modificando in particolare la deformazione del provino allo snervamento; la legge dello scorrimento plastico sarà definita da un ramo della curva carichi-allungamenti, compreso tra quelli corrispondenti ai due casi limiti a) e b).

Indicando con $E_m = \frac{dF}{d\delta_m}$ ed $E_p = \frac{dF}{d\delta_p}$ (*) i moduli di elasticità glo-

balli della macchina e della provetta, dove δ_m e δ_p sono le rispettive defor-

(*) R. L'HERMITE: « Méthodes générales d'essai et de contrôle en Laboratoire », Vol. I, Eyrolles 1959.

mazioni totali, l'energia di deformazione accumulata nel sistema, in corrispondenza del valore F del carico di prova, assume l'espressione

$$L = \frac{F^2}{2} \left(\frac{1}{E_m} + \frac{1}{E_p} \right). \quad (1)$$

Se il sistema è in equilibrio e si produce una deformazione plastica $d\delta^*$ del provino, a carico costante, si ha nel sistema stesso una diminuzione di energia che si può ricavare dalla (11-1) e che è uguale al lavoro plastico $F \cdot d\delta^*$:

$$dL = F dF \left(\frac{1}{E_m} + \frac{1}{E_p} \right) = - F \cdot d\delta^*$$

dalla quale si ricava la perdita di carico alla macchina

$$dF = - \frac{d\delta^*}{\frac{1}{E_m} + \frac{1}{E_p}}, \quad (2)$$

che può scriversi

$$\frac{dF}{d\delta} = - \frac{E_p}{1 + \frac{E_p}{E_m}} \frac{d\delta^*}{d\delta}.$$

Se la prova è condotta in modo che il corpo sollecitato possa deformarsi plasticamente a carico costante, si ha $d\delta^*/d\delta = 1$ e quindi

$$\frac{dF}{d\delta} = - \frac{E_p}{1 + \frac{E_p}{E_m}}. \quad (3)$$

Per $E_m = 0$ (macchina infinitamente elastica), la (11-3) fornisce $dF/d\delta = 0$ e cioè il diagramma F, δ presenta un tratto orizzontale in corrispondenza dello snervamento. Se $E_m = \infty$ (macchina infinitamente rigida), dalla stessa relazione si ricava $dF/d\delta = -E_p$: la fase plastica si svolge secondo un tratto del diagramma, inclinato di $-\arctg E_p$ sull'asse δ .

Se lo scorrimento ha luogo in un provino mantenuto a lunghezza costante, quindi $d\delta^*/d\delta = \infty$, in modo analogo si ottiene dalla (11-3) che, per $E_m = \infty$, è $dF/d\delta = -\infty$, e cioè il diagramma teorico F, δ presenta un tratto verticale in corrispondenza del carico di snervamento.

Nella realtà, se il provino tende spontaneamente a deformarsi plasticamente in corrispondenza di un assegnato carico, l'effettivo diagramma F, δ è caratterizzato da un ramo inclinato, compreso tra l'orizzontale e la verticale passanti per il punto che segna l'inizio della fase plastica; il carico alla macchina non può comunque scendere al disotto di un valore minimo che corrisponde al punto di intersezione tra il ramo inclinato e la retta parallela al tratto elastico lineare e distante da esso di δ^* . Nelle macchine molto rigide, una serie di scorrimenti plastici piccoli ma finiti determina, insieme alle corrispondenti e successive cadute di carico, un andamento a denti di sega della fase di snervamento che è proprio delle macchine di questo tipo. Il contrario accade nelle macchine molto elastiche, caratterizzate da un notevole accumulo di energia in corso di prova: le deformazioni plastiche crescono senza che avvengano contemporaneamente cadute di carico, con il conseguente aumento della velocità di deformazione che aggiunge il proprio effetto dinamico a quello dovuto alla velocità di crescita del carico; in alcune macchine di questo tipo, specialmente se la prova riguarda materiali con piccola deformazione di rottura come il conglomerato di cemento, si rileva la violenta rottura del provino per l'improvviso liberarsi dell'energia accumulata nella macchina.

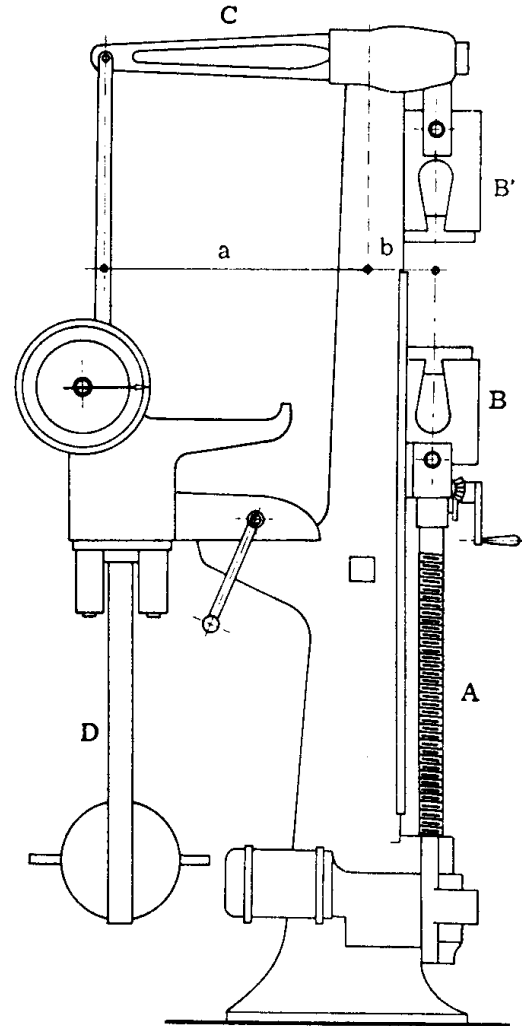
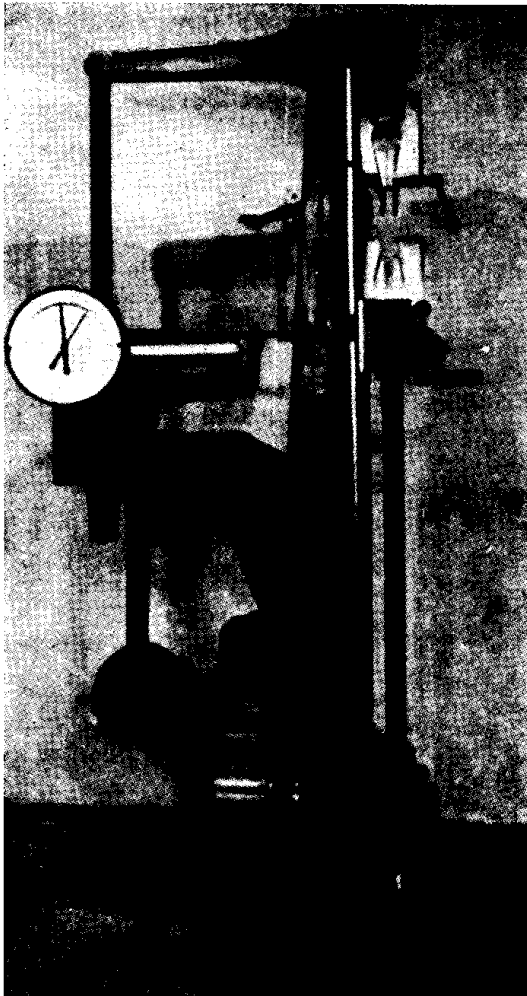
2. Generatori del carico di prova. Martinetti.

Se la macchina è del tipo a deformazione imposta, generalmente è allestita anche per operare a velocità di deformazione imposta; quest'ultima infatti influisce notevolmente sui risultati della prova, in particolare sul valore del carico di snervamento e su quello del carico di rottura. Il dispositivo più adoperato in questo caso è il generatore meccanico dello sforzo, consistente in una vite che, azionata dall'apparato motore, si sposta a velocità costante trascinando una delle morse che vincolano il provino; il tipo di macchina è quello già indicato schematicamente nella fig. 11-3.

Quando gli sforzi richiesti dalla prova sono notevoli, la trasmissione diretta dello sforzo dal generatore al dinamometro diventa proibitiva, per le notevoli dimensioni che occorrerebbe conferire a quest'ultimo; si effettua in tal caso una riduzione dello sforzo attraverso una leva, come appare dalla fig. 11-4, nella quale è riportata una macchina di trazione *Amsler*, a velocità di deformazione imposta dalla vite A; il provino fissato alle morse B, B', trasmette lo sforzo alla leva C che lo riduce nel rapporto b/a ; così ridotto, esso agisce sul dinamometro pendolare D. Va rilevato che il peso e l'ingombro derivante dalla leva riduttrice non consentono al sistema meccanico a vite di oltrepassare le 5 t di sforzo applicato.

Le prove a carico imposto sono state per lungo tempo eseguite applicando lo sforzo al provino a mezzo di pesi, agenti direttamente o attra-

verso sistemi di leve. La fig. 11-5 dà l'esempio di una sorpassata macchina *Guppy* a leva semplice, capace di esercitare uno sforzo $F = 23,5 \times P$, sia a compressione tra i piatti A, A', che a trazione tra le ganasce B, B'. Questo sistema di applicazione del carico unisce alla semplicità e precisione della macchina ed all'assenza di sistemi di regolazione, l'inconveniente di dar luogo a prove lente e faticose per la necessità di manovrare i pesi P; inol-



(da L'Hermite)

FIG. 11-4

tre, a causa della discontinuità di applicazione dello sforzo, la macchina non fornisce l'effettivo carico di rottura ma delimita soltanto l'intervallo entro il quale è compreso. Attualmente l'impiego delle macchine di questo tipo è limitato, quasi esclusivamente, ad alcune prove di *viscosità*, in particolare quelle sui metalli, delle quali verrà fatto cenno più avanti.

Le moderne macchine a carico imposto sono del tipo idraulico ed utilizzano un sistema cilindro-pistone (*martinetto*) che viene alimentato

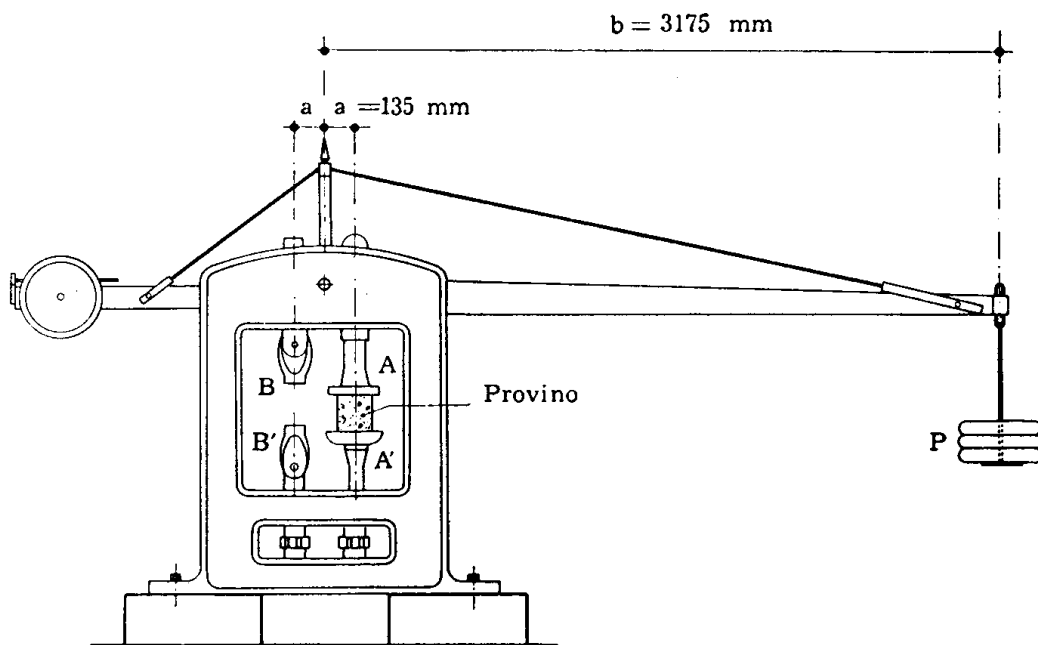
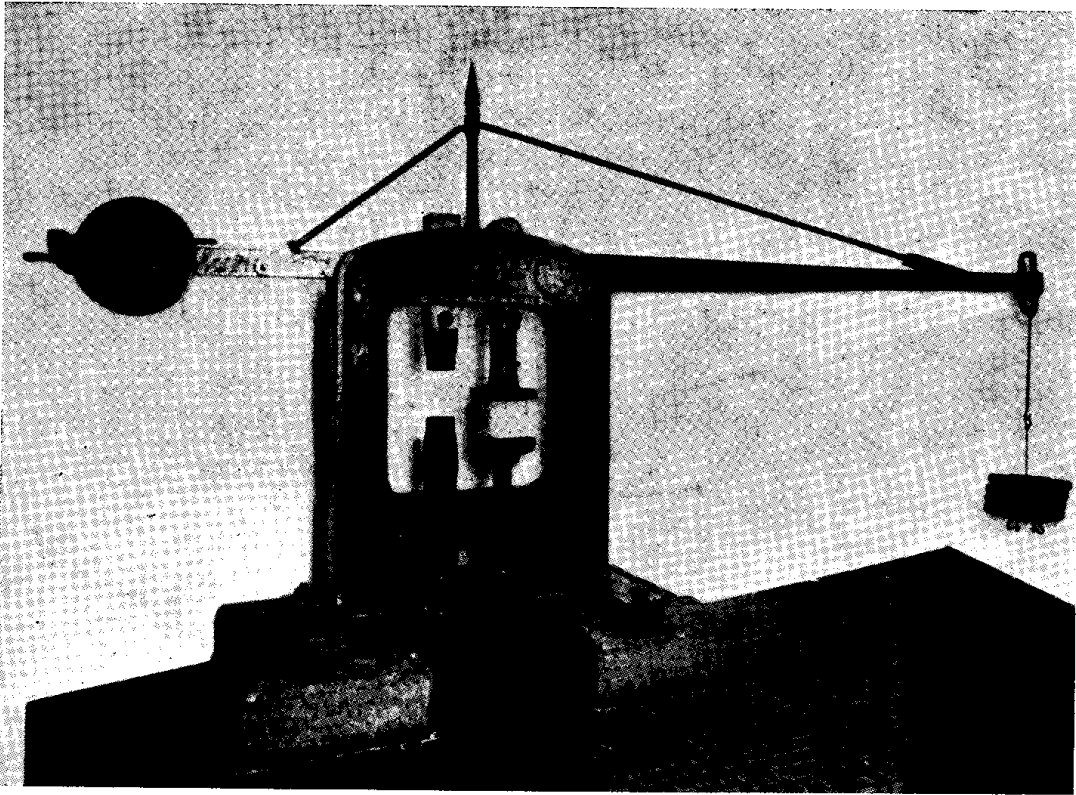


FIG. 11-5

con olio messo in pressione da una pompa azionata a mano, come accade nelle piccole macchine, od a motore; se si esclude il caso delle macchine per prove di trazione in orizzontale su provini molto lunghi come funi e catene, il martinetto è sempre disposto verticalmente. Di solito la macchina ha il pistone che, nel corso della prova, si sposta dal basso verso l'alto, come si rileva dalla fig. 11-6 relativa ad una pressa *Amsler* da 200 t; in posizione di riposo, esso preme sull'olio contenuto nel cilindro, creando

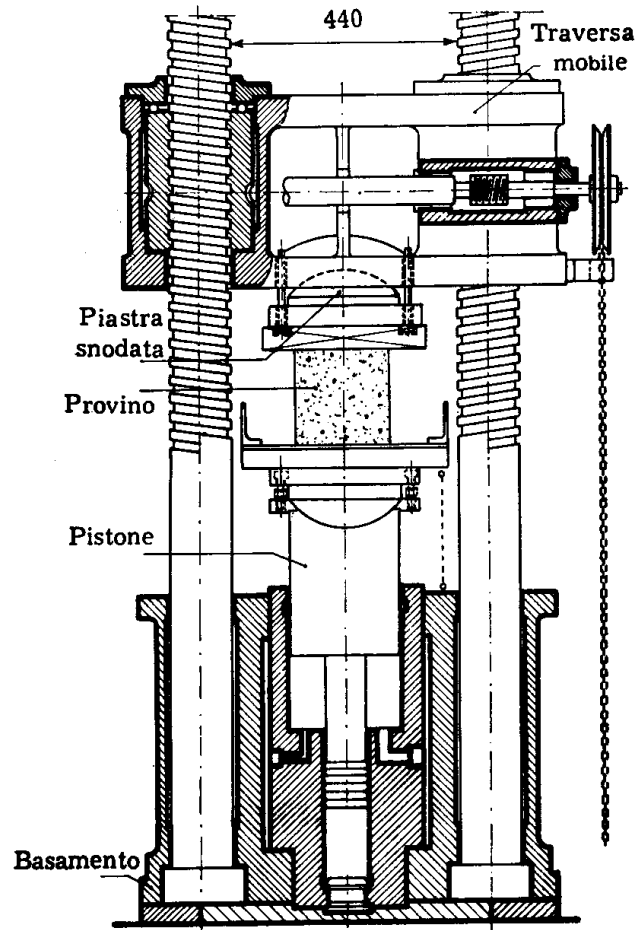
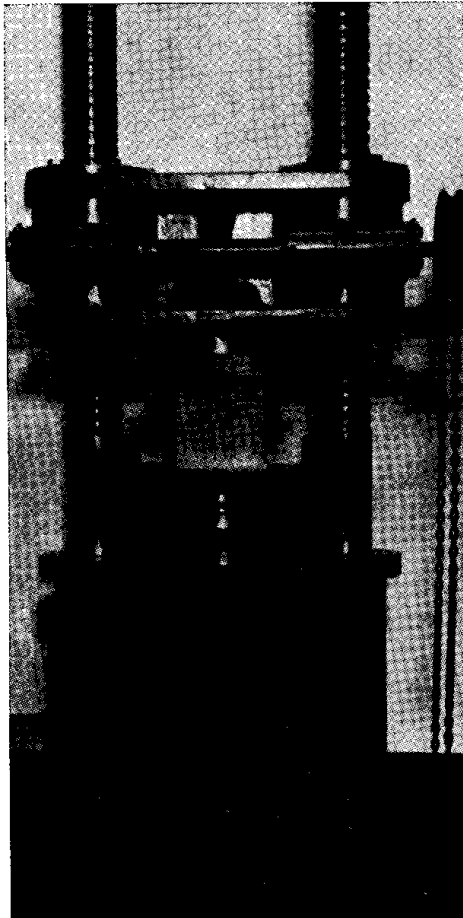


FIG. 11-6

una contropressione che deve equilibrare, oltre che il peso del pistone, anche quello del provino e degli interposti organi di trasmissione del carico; ciò comporta l'esistenza di un dispositivo di azzeramento del dinamometro, per evitare che l'effetto della contropressione possa falsare i risultati della prova.

In casi particolari può essere necessario che l'azione del martinetto si eserciti dall'alto verso il basso: per esempio, in alcune macchine che utilizzano un banco di flessione di notevoli dimensioni, occorre tenere

quest'ultimo vincolato inamovibilmente al suolo, e disporre il martinetto nella parte superiore della macchina (fig. 11-7). In posizione di riposo, il pistone A tende a ricadere verso il basso e a decomprimere l'olio che si trova nel cilindro B; è necessario allora disporre di un accumulatore idraulico con il quale esercitare una contropressione p' capace di equilibrare il peso del pistone che sarà fornito a tale scopo di un collare C ricavato sulla sua superficie esterna. Della contropressione applicata si tiene conto nelle letture al dinamometro, spostando il punto zero del suo quadrante.

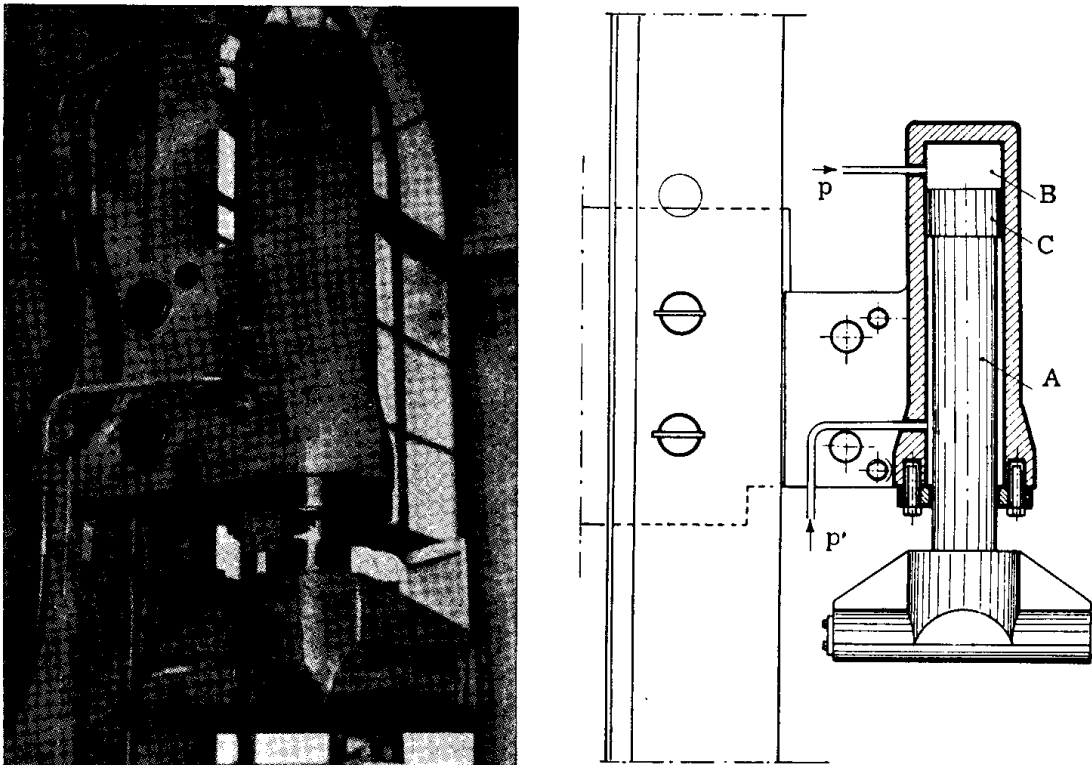


FIG. 11-7

Per ridurre al minimo il diametro del pistone, quindi l'ingombro del martinetto, si tende ad utilizzare elevate pressioni di pompaggio dell'olio; ciò comporta problemi di tenuta non trascurabili. La soluzione teoricamente ideale è quella che affida la tenuta ad un contatto perfetto tra la parete del cilindro e quella del pistone, ottenendosi così anche la riduzione al minimo degli attriti nel martinetto; le perdite diventano però sensibili se la pressione dell'olio supera i 400 kg/cm^2 nei piccoli martinetti, o i 250 kg/cm^2 in quelli di medie dimensioni, tenuto conto delle maggiori difficoltà di lavorazione che si incontrano nella rettifica di pistoni di grande diametro. Nella costruzione di martinetti di diametro notevole si ri-

nunzia perciò a questa soluzione del problema di tenuta, e si ripiega sull'uso di pistoni forniti di guarnizioni, tollerando la minore precisione che ne deriva per la macchina di prova, a causa degli attriti che così si introducono.

Nelle macchine idrauliche a cilindro e pistone, l'unica variabile che condiziona il carico è la pressione che dovrà quindi assumere valori minimi se sono richiesti modesti carichi di prova; a questi regimi la macchina diventa poco sensibile ed imprecisa per il maggior peso che hanno fenomeni parassiti quali le perdite al pistone, gli attriti, ed ancora l'inerzia delle masse in gioco ed il regime non costante della pompa che alimenta il martinetto. Per estendere il campo di sensibilità della macchina, è allora necessario dotarla di più martinetti, ciascuno dei quali copra un certo intervallo della complessiva gamma dei carichi.

In alcune macchine, ad esempio in quella sistema *Arthuis* (fig. 11-8), ciò si ottiene, con sensibile vantaggio per la compattezza della macchina

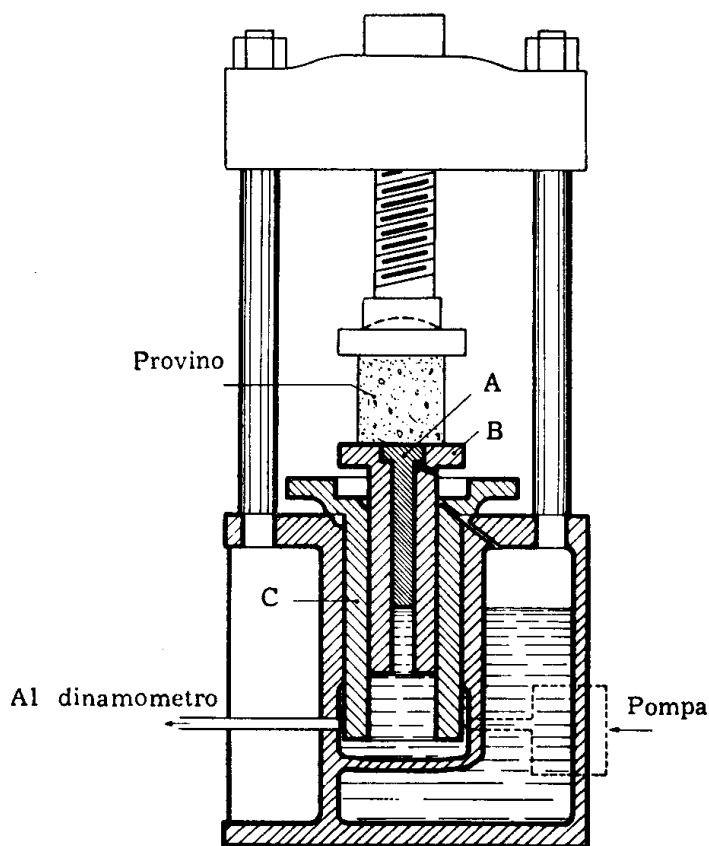


FIG. 11-8

e per il suo uso, impiegando gruppi di pistoni concentrici, scorrevoli l'uno nell'altro, che vengono liberati uno alla volta o tutti insieme; in questo

modo si ottiene la possibilità di graduare il carico, facendo variare tanto la sezione del martinetto che la pressione dell'olio. In pratica, disimpegnando il solo pistone A, alle basse pressioni, si copre il campo dei piccoli carichi, mentre quello dei medi e grandi carichi si ottiene aumentando la pressione al martinetto e liberando il pistone B, successivamente quello C.

Accanto al martinetto a pistone, va ricordato quello a capacità deformabile, costituito da una scatola di forma speciale, a grande diametro, nel quale il movimento di scorrimento del pistone è sostituito dal rigonfiamento della scatola per effetto della pressione idraulica in essa generata. Questo tipo di martinetto non presenta problemi di tenuta ma, per la sua modesta deformabilità assiale, fornisce corse molto ridotte rispetto a quelle del pistone di un martinetto del primo tipo; il suo impiego è perciò limitato alle prove di rottura su provini di materiale poco deformabile.

Un cenno va fatto a proposito degli apparecchi ausiliari che consentono di mantenere una pressione costante nel martinetto, condizione di prova che è necessario realizzare quando il provino deve essere tenuto sotto lo stesso carico per un lungo periodo di tempo: si tratta di dispositivi che automaticamente compensano le variazioni di pressione, in eccesso o in difetto, rispetto a quella stabilita per la prova. Il sistema *Losenhausen*, ad esempio, adotta un principio di regolazione basato su di un contatto elettrico che la lancetta del dinamometro stabilisce se, diminuendo la pressione, si sposta dalla posizione corrispondente al carico di prova; il contatto mette in azione un motore e la pompa ad esso collegata, per il tempo necessario a ristabilire il prefissato valore della pressione. Nelle macchine tipo *Trayvou*, la pompa funziona in permanenza, ma il dinamometro tiene la pressione ad un valore costante regolando l'apertura di una valvola di scarico; una molla azionata da un pistone messo in serie col martinetto, controlla la portata della valvola.

3. Organi di misura del carico applicato (dinamometri).

La misura del carico di prova si esegue a mezzo di *dinamometri* e cioè di apparecchi che, sollecitati da una forza, sono capaci di equilibrarla mutando sotto la sua azione il proprio stato di riposo. Considerati sotto questo aspetto, i dinamometri si possono suddividere in due classi: *dinamometri a gravità* e *dinamometri elastici*. Nei primi la forza esterna applicata agisce su di una massa che, spostandosi dalla posizione di riposo, equilibra la forza perturbatrice; nei secondi l'equilibrio è raggiunto ad opera della reazione che il misuratore esplica deformandosi elasticamente: la misura della forza è comunque ridotta a quella di uno spostamento, che è rigido nel primo caso, elastico nel secondo. Per semplificare il quadrante di lettura dell'apparecchio, si cerca di realizzare il dinamometro in modo

da ottenere un legame lineare tra lo spostamento da rilevare e la forza che lo produce.

In quanto segue non verranno prese in considerazione le macchine nelle quali il carico sul provino è ottenuto applicando dei pesi, direttamente o con l'uso di leve: in questo caso infatti, la misura è insita nella stessa operazione di disporre un peso noto sul piatto della macchina (fig. 11-5).

Dinamometri elastici. - In talune macchine idrauliche la misura del carico avviene rilevando direttamente la pressione dell'olio con un manometro del tipo *Bourdon*, che deve essere, per l'uso di cui si tratta, di costruzione particolarmente accurata e frequentemente tarato. Il tubo di *Bourdon* (fig. 11-9), è un corpo AB molto allungato, ad asse curvo, con

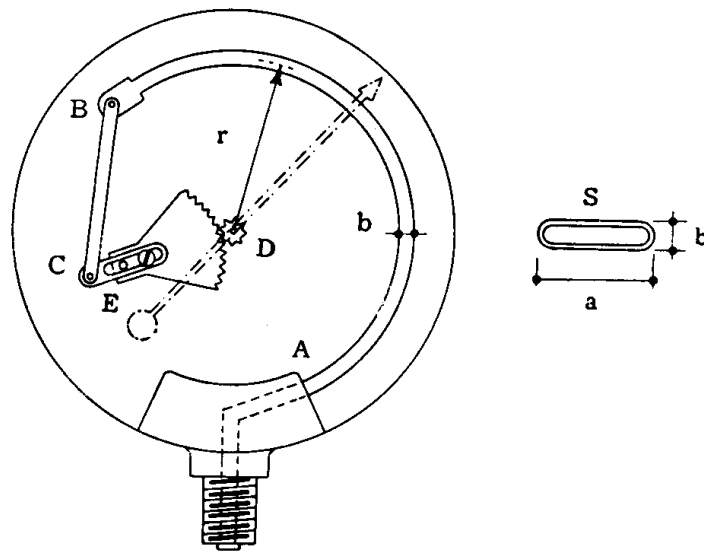


FIG. 11-9

sezione cava, sottile e molto schiacciata; esso è vincolato in A con un incastro e libero in B. Il suo funzionamento è basato sulla capacità di deformarsi proporzionalmente alla pressione dell'olio immessa nel suo interno; il conseguente spostamento del suo estremo libero mette in movimento il sistema registratore CD, tramite l'asta BC che è disposta lungo la direzione secondo la quale avviene lo spostamento del punto B; questa direzione è conosciuta a priori con una certa approssimazione, ma può essere individuata con maggiore esattezza, agendo sul registratore a corsoio E fino ad ottenere il massimo della sensibilità dell'apparecchio. Quest'ultima è proporzionale allo spostamento dell'estremo B ed aumenta col cubo del raggio di curvatura r dell'asse del tubo, e con l'inverso del momento di inerzia della sua sezione e del modulo di elasticità del materiale che lo costituisce. Ne deriva la preferenza per tubi a piccola curvatura, compa-

tibilmente con le dimensioni del manometro, di sezione S appiattita come quella indicata in fig. 11-9, e costruiti con materiale a basso modulo di elasticità (leghe di rame).

L'olio per azionare il manometro, o più in generale il dinamometro, viene derivato dal martinetto e non dalla pompa, per evitare gli errori dovuti alle perdite di carico. Specialmente nelle macchine di grande potenza, la pressione, prima di giungere all'apparecchio di misura, è di nuovo trasformata in una forza, il che si ottiene facendola agire su di un pistone di area A' notevolmente inferiore a quella A del martinetto. Il dinamometro è così sollecitato da una forza ridotta nel rapporto A'/A , ed assume dimensioni ragionevoli anche se si tratta di grandi macchine di prova (macchine idrauliche a riduzione). Generalmente, per escludere gli attriti del pistone riduttore, questo è animato da un moto rotatorio all'interno del suo cilindro.

Il *dinamometro a molla*, caduto in disuso per un certo tempo con l'intervento degli apparecchi a gravità dei quali si dirà in seguito, è di nuovo frequentemente impiegato per la grande precisione che attualmente gli si può conferire impiegando le moderne molle in lega speciale (metallo

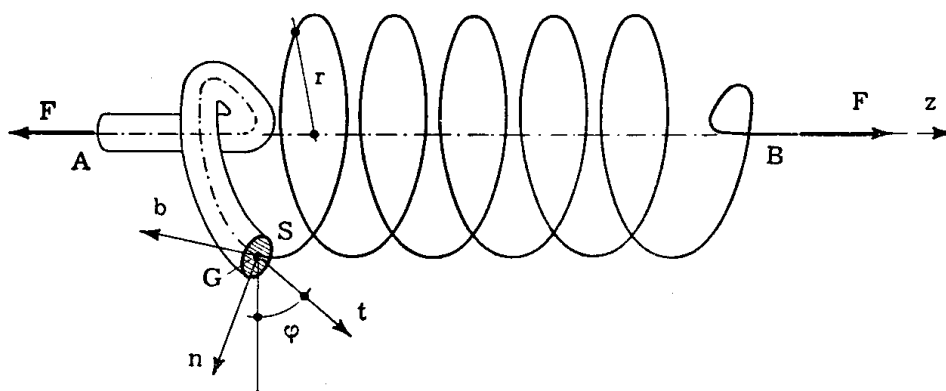


FIG. 11-10

isoelastico); queste leghe posseggono infatti le caratteristiche indispensabili per costruire un dinamometro preciso e sensibile: modulo elastico di valore basso e costante con la temperatura, limite elastico e limite di fatica elevati, struttura esente da fenomeni di isteresi meccanica, modesto coefficiente di dilatazione termica.

Le molle adoperate nei dinamometri per macchine di prova sono generalmente del tipo elicoidale (fig. 11-10) caratterizzate geometricamente dal raggio di avvolgimento r , dalla lunghezza $l = 2\pi r n$, dove n è il numero delle spire, dai momenti di inerzia polare baricentrico I_G ed assiale I_b

della sua sezione S , e dall'angolo di inclinazione φ della tangente all'asse dell'elica, rispetto al piano normale all'asse z della molla.

Se questa è sollecitata assialmente dalle forze F (fig. 11-10), lo spostamento relativo dei suoi estremi A , B , nella direzione z è fornito dalla espressione

$$w = F r^2 \ell \left(\frac{\text{sen}^2 \varphi}{E I_b} + \frac{\text{cos}^2 \varphi}{G I_G} \right) \quad (4)$$

dove E , G sono i moduli di elasticità longitudinale, rispettivamente tangenziale, del materiale costituente la molla. Nella (11-4) l'angolo φ è in realtà funzione di F , sicchè la dipendenza di w da F non è di tipo lineare; trattandosi però di un angolo molto piccolo si può, in via di approssimazione, considerare $\text{sen} \varphi = 0$ e porre $\text{cos} \varphi = 1$, il che coincide col trascurare la deformabilità flessionale della molla rispetto a quella torsionale. Lo spostamento derivante dalla sola elasticità a torsione risulta così linearizzato in F :

$$w = F \frac{r^2 \ell}{G I_G} \quad (5)$$

La precedente è una relazione accettabile per deformazioni molto piccole della molla; di essa ci si accontenta in tutti i casi, e sono in pratica i più frequenti, nei quali è richiesta una precisione media dei risultati; un vantaggio non trascurabile, che deriva da questa approssimazione, è costituito dal poter usare quadranti di lettura del carico con suddivisioni tutte uguali (quadranti a graduazione lineare).

Nella fig. 11-11 è dato lo schema di un *dinamometro a molla Amsler* impiegato su macchine per prove di trazione rapida ed in presse di piccola portata: la figura in particolare si riferisce al dinamometro di una piccola pressa *Amsler* da 100 t azionata a mano. L'olio in pressione agisce sul pistone A che, spostandosi senza attrito nel suo cilindro, trascina la staffa B ad esso solidale e deforma la molla tarata C . Lo spostamento dell'estremo inferiore della molla viene comunicato, col sistema di cremagliera e pignone D , alla lancetta che indica sul quadrante lo sforzo prodotto dal martinetto; la cremagliera è richiamata dal piccolo peso P .

Talvolta l'impiego di dinamometri a molla comporta l'intercambiabilità dell'elemento elastico, in funzione del carico massimo che si dovrà raggiungere nel corso della prova; ciò non accade per il dinamometro a molla *Guillery*, adoperato per macchine a media pressione, che adopera una molla unica per tutta la gamma di carichi della macchina, ma varia il rapporto di riduzione A'/A del dinamometro, utilizzando pistoni multipli,

coassiali e scorrevoli l'uno nell'altro (fig. 11-12). Il funzionamento ricorda quello del martinetto sistema *Arthuis*, con la differenza che in questo caso, al crescere della pressione, viene ridotta la sezione del pistone, per mantenere sulla molla uno sforzo di trazione compatibile. I tre elementi coassiali, con anelli torici di tenuta, possono scorrere senza attrito l'uno all'interno dell'altro, sotto l'azione della pressione immessa nella camera A, all'interno della quale è situato l'elemento elastico B; ai carichi maggiori solo il pistone più piccolo C è libero di muoversi, mentre gli altri due D, E

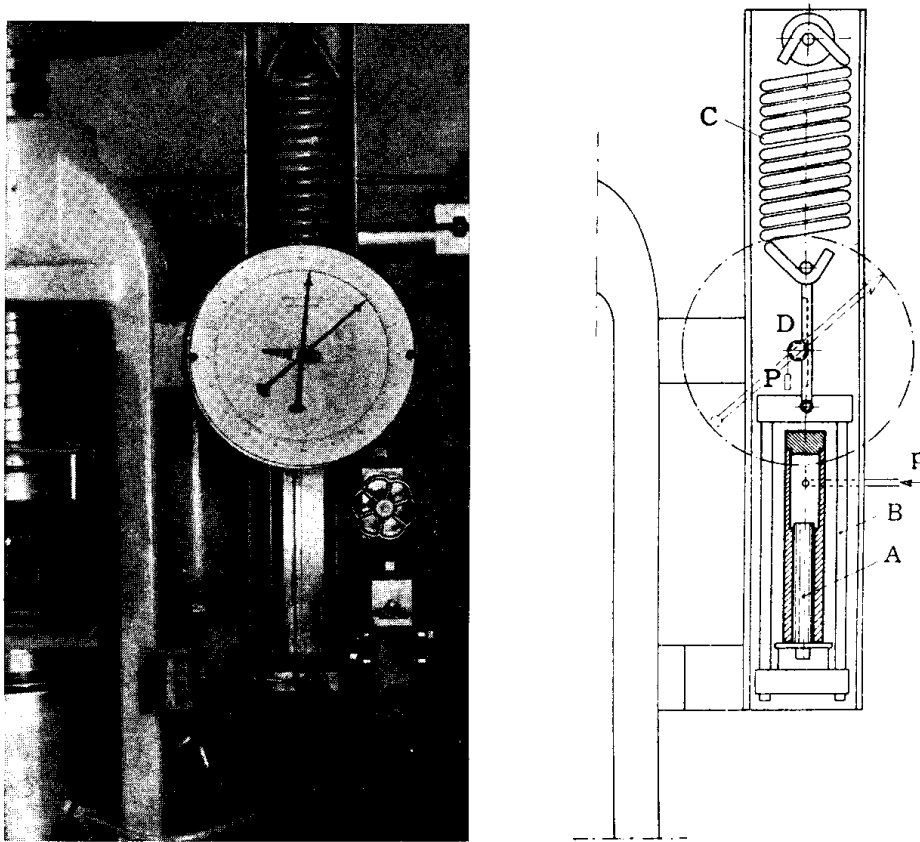


FIG. 11-11

sono vincolati al corpo del dinamometro. La sensibilità media si ottiene liberando il pistone D che trascina anche quello C; la sensibilità ai carichi più modesti si ottiene con il contemporaneo e solidale movimento dei tre elementi. Sia in questo tipo di dinamometro che nel precedente, la molla funziona come elemento teso.

Va rilevato che il dinamometro a molla che utilizza direttamente la pressione del martinetto per la misura del carico, presenta, insieme alla semplicità di funzionamento, l'inconveniente di risentire delle resistenze

parassite del pistone del martinetto che sono difficili da eliminare completamente, e l'altro di non poter dare una pronta risposta a causa dell'inerzia della notevole massa d'olio che il pistone del martinetto muove durante la sua corsa; si spiega così come, in alcune macchine, il circuito idraulico del dispositivo di misura è completamente separato da quello del meccanismo che esercita lo sforzo (macchine idrauliche a misura indiretta).

Nelle moderne macchine *Baldwin-Tate-Emery*, il carico di prova S

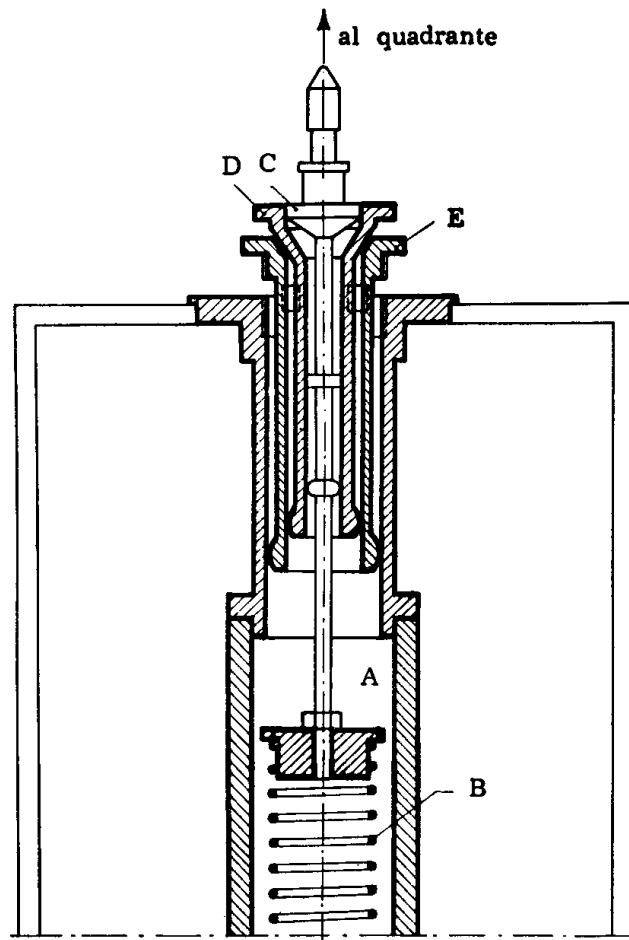


FIG. 11-12

(da *L'Hermite*)

è trasmesso ad una capsula di rilevamento della pressione (*capsula Emery* fig. 11-13 a); la pressione viene poi misurata a mezzo di un servomotore pneumatico (*dinamometro asservito Baldwin-Emery*, fig. 11-13 b). Un pistone A, solidale con uno degli attacchi del provino (fig. 11-13 a), trasmette lo sforzo S da misurare ad una membrana deformabile B che limita una capacità C di grande diametro e di piccolo spessore, ripiena d'olio; la rottura della membrana è impedita da un anello articolato D. Le variazioni di pressione, indotte nell'olio della camera, vengono tra-

smesse dal tubo E al dinamometro asservito, il cui principio è illustrato in fig. 11-13 b: la pressione deforma il tubo di *Bourdon* F ed apre la valvola G, che decomprime la capacità deformabile H tenuta a pressione costante; la parte mobile della scatola tende così la molla tarata L, collegata al tubo manometrico, richiamandolo costantemente alla posizione di riposo. In questo modo la molla è sollecitata in ogni istante da una forza proporzionale alla pressione che agisce nel tubo. Il dinamometro è quindi del tipo a molla, ed il tubo di *Bourdon* ha soltanto la funzione di creare un asservimento pneumatico tra la variazione di pressione e la deformazione della molla. La cremagliera M, solidale alla scatola deformabile H, aziona la sfera del quadrante registratore. Una caratteristica di rilievo del sistema

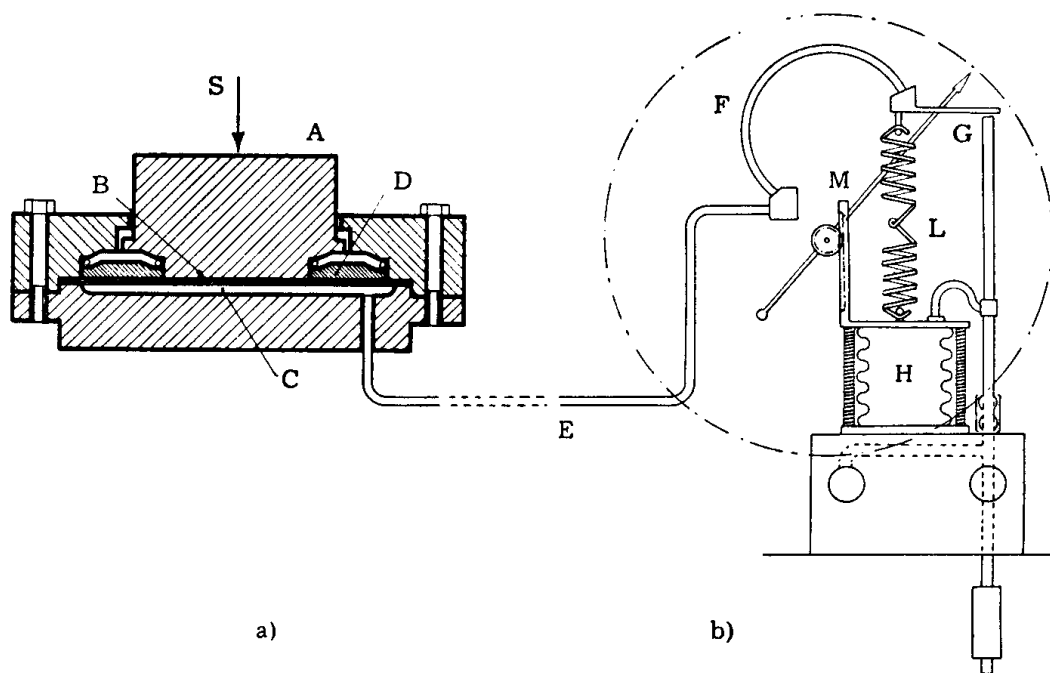


FIG. 11-13

(da *L'Hermite*)

Baldwin-Emery è costituita dal fatto che il dinamometro è equipaggiato con elementi elastici multipli, di diversa sensibilità, disposti in parallelo, sicchè è possibile variare la portata della misura anche durante la prova; inoltre la corsa molto piccola della capsula rende l'apparecchio capace di una risposta pressochè istantanea alle variazioni di pressione, con una precisione accresciuta dall'assenza di parti dotate di moto relativo.

Il fatto che la legge di deformazione della molla dinamometrica può variare col tempo, rende necessarie frequenti verifiche dell'elemento elastico; inoltre, come si è visto, la legge stessa non è rigorosamente lineare. A questi effetti è di grande utilità la concezione del dinamometro *L'Hermite-Lepetit* che include un sistema di taratura permanente; il dinamometro impiega una molla compressa, guidata senza attrito da un pistone

sommerso in olio alla pressione del martinetto, e messo in rotazione intorno al suo asse da un motore indipendente; una leva a coltello preme, con uno dei suoi bracci, sull'estremità inferiore della molla ed è caricata sull'altro. L'articolazione della leva è portata da un martinetto a vite col quale è possibile tenere costantemente in posizione orizzontale la leva, via via che la molla viene compressa; il sistema consente, all'atto della taratura iniziale, una precisa suddivisione del quadrante di lettura, secondo le caratteristiche effettive della molla (quadrante a graduazione non lineare), e permette inoltre la verifica periodica della variazione nel tempo delle caratteristiche stesse.

Dinamometri a gravità - Questi apparecchi di misura del carico costituiscono dei sistemi articolati, cinematicamente molto deformabili, che equilibrano con dei pesi lo sforzo della macchina; sono del tipo *a leva*, oppure a sistema *pendolare* (fig. 11-14).

I dinamometri del tipo a leva (fig. 11-14 a) sono stati tra i primi ad essere adoperati nel campo della misura delle forze; lo sforzo crescente F esercitato dalla macchina, ridotto nel rapporto $ab/a'z$ definito dalle leve costituenti il dinamometro, viene equilibrato con il peso costante P , fa-

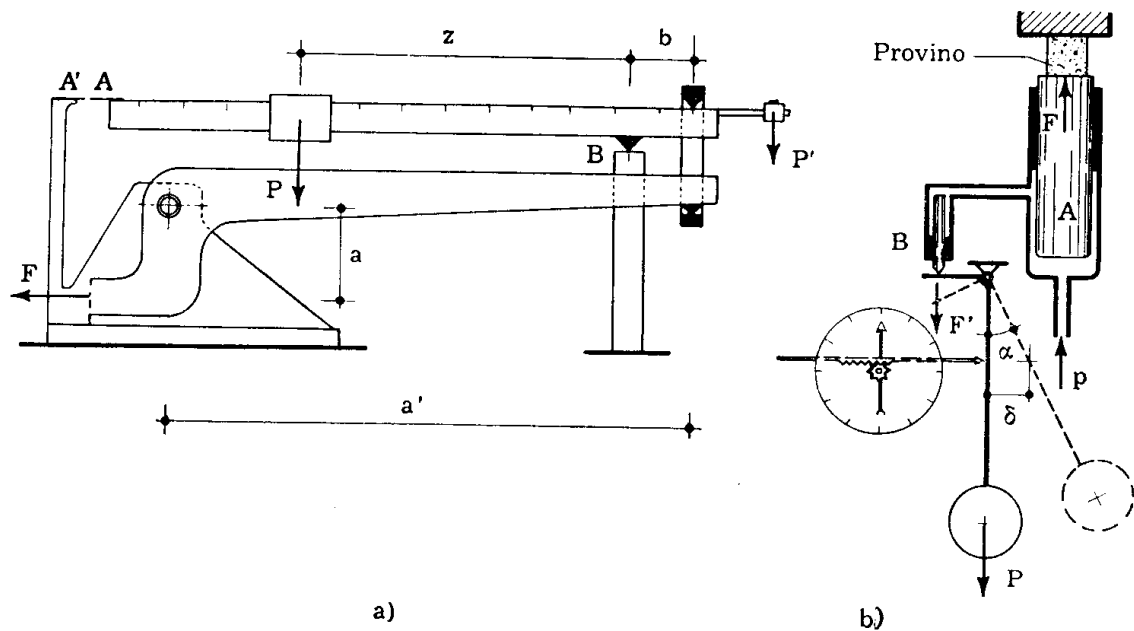


FIG. 11-14

cendo variare, manualmente od automaticamente, la sua posizione lungo il braccio di leva AB , e annullando istante per istante lo spostamento dell'estremo A del braccio stesso, rispetto al riferimento fisso A' ; una graduazione incisa sull'asta AB fornisce il valore del carico di prova in corri-

spondenza della posizione istantanea del peso P . La massa P' consente di equilibrare il peso delle leve a macchina scarica.

Nelle macchine moderne, il dinamometro a gravità generalmente impiegato è quello pendolare, che costituisce un sistema auto-equilibrante (fig. 11-14 b). In questo tipo, la forza F esercitata sul provino dal pistone A viene diminuita al valore F' dal pistone riduttore B , che la trasmette al dinamometro a pendolo; la massa P e la sua distanza dall'articolazione dell'asta pendolare possono essere variati in funzione dello sforzo massimo da raggiungere, ma restano poi costanti nel corso della prova. L'equilibramento della forza F si ottiene con lo spostamento del peso P , e la sua misura si può eseguire rilevando un parametro che caratterizza la posizione di equilibrio: la componente δ dello spostamento di un punto dell'asta del pendolo, o l'angolo α di deviazione dalla posizione di riposo.

Un esempio di *dinamometro a leve* è quello adottato in un tipo non recente di macchina *Mohr e Federhaff* per prove di trazione in orizzontale fino a 100 t (fig. 11-15 a, b): il carico di prova F è trasmesso, dalla staffa S articolata in O , al coltello C della prima leva AB ; per quest'ultima si è indicato con A la traccia della generatrice di contatto comune a due coltelli che assorbono la componente verticale e quella orizzontale delle forze in atto. Lo sforzo è ulteriormente ridotto dalle leve DE , FG ; lungo quest'ultimo braccio, che è graduato, scorre il peso equilibrante P a mezzo di un sistema a vite H azionato dalla manovella I . L'equilibrio del dinamometro si ottiene, al crescere dello sforzo F , mantenendo costantemente l'indice mobile L' a livello con quello fisso L ; i pesi ausiliari P' , P'' servono rispettivamente per la regolazione grossolana e fine del punto zero.

I numerosi tipi di *dinamometri pendolari* si basano sul principio elementare di fig. 11-14 b e si differenziano per le modalità di costruzione che stabiliscono diverse relazioni tra la caratteristica dello spostamento pendolare e la forza da misurare; nei dispositivi semplici questa relazione non è di proporzionalità, ma può diventare tale mediante particolari accorgimenti costruttivi.

Nel *dinamometro pendolare semplice* (fig. 11-16 a) la forza da misurare F è trasmessa all'estremo della leva OB solidale all'asta OA del pendolo, e inclinata di β rispetto ad essa; la leva OB è contrappesata in modo che la posizione di equilibrio naturale del pendolo sia quella verticale. L'applicazione del carico F comporta una nuova posizione di equilibrio, con l'asse OA inclinato di α sulla verticale; l'equazione di equilibrio intorno ad O si scrive

$$F = \frac{P l}{a} \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } (\alpha + \beta)} \quad (6)$$

e consente di conoscere lo sforzo prodotto dalla macchina attraverso la

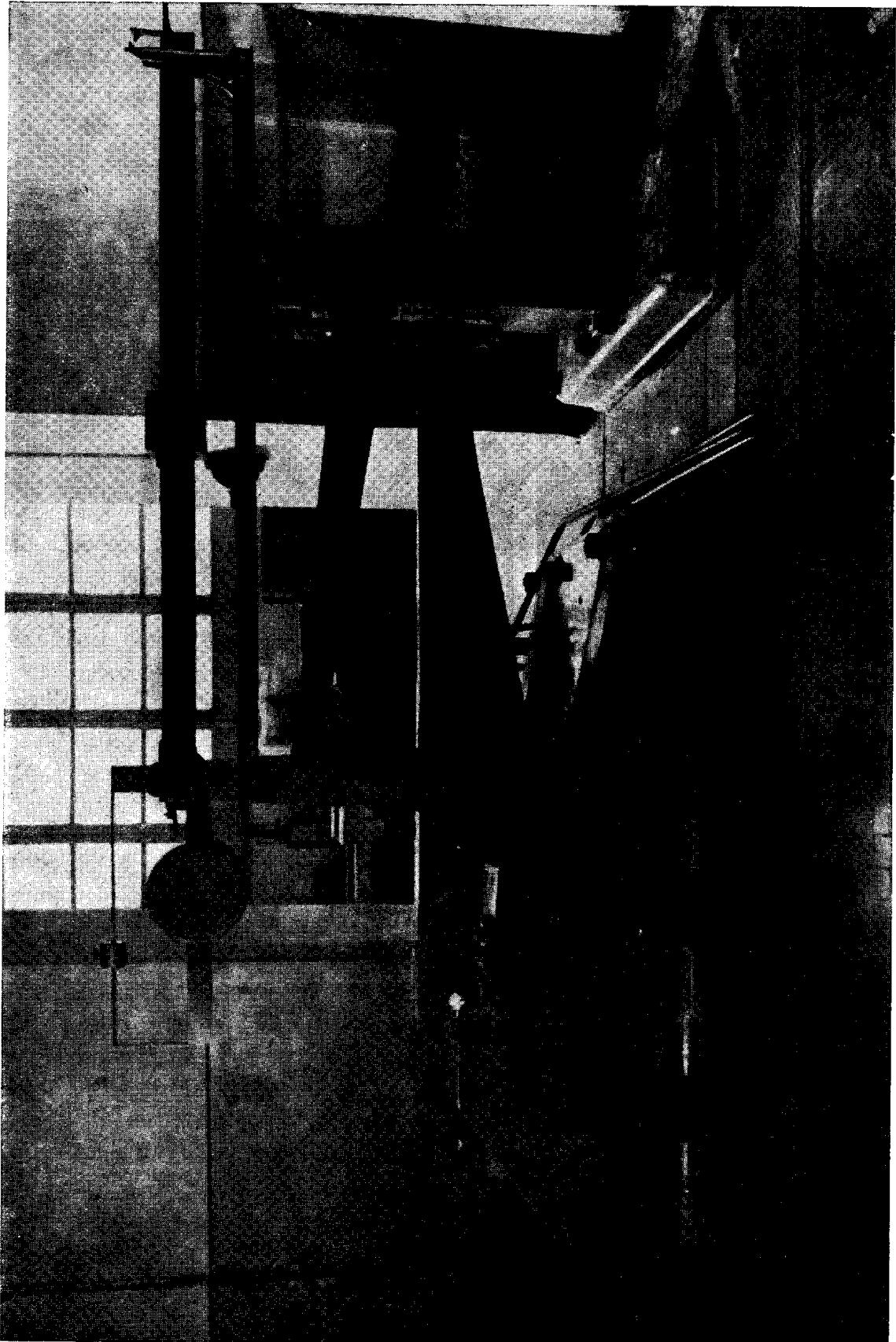


FIG. 11-15 a

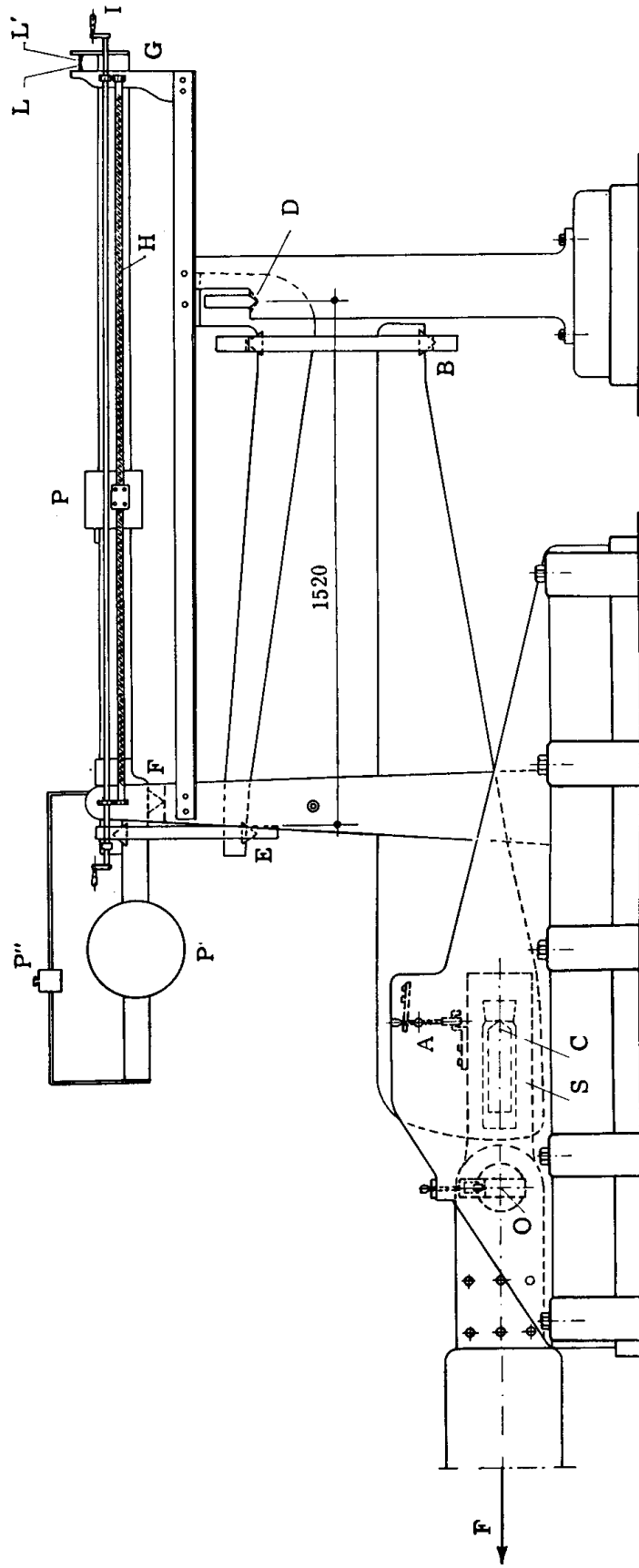


FIG. 11-15 b

misura dell'angolo α . Ciò si ottiene in pratica con la taratura del dinamometro, attesa la complessità della relazione (11-6).

Il *dinamometro sinusoidale* (fig. 11-16 b) prende il nome dalla legge, più semplice della (11-6), che lega il parametro α alla forza F trasmessa al dinamometro; questa è applicata ad un settore circolare S , invece che ad una leva, tramite una lamina metallica flessibile BC , che si avvolge sul settore circolare di raggio a ; ne consegue che è costante il momento di F

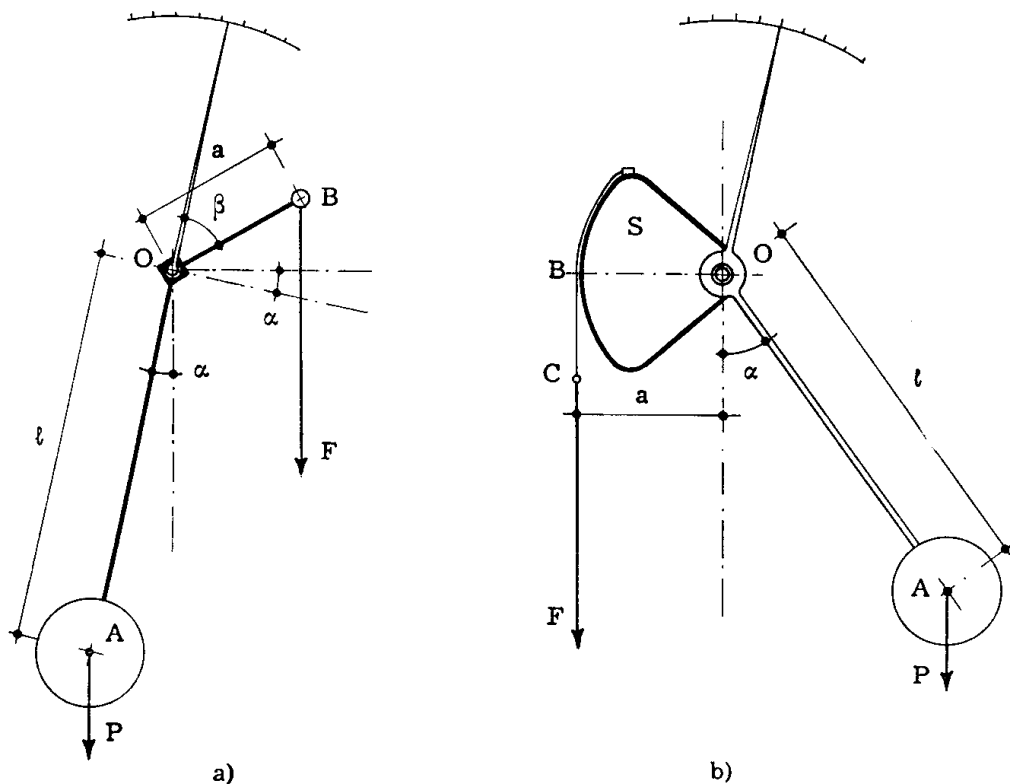


FIG. 11-16

rispetto ad O . Uno spostamento angolare α del pendolo comporta la seguente condizione di equilibrio:

$$F = \frac{P l}{a} \operatorname{sen} \alpha . \quad (7)$$

Il quadrante del dinamometro ha una graduazione con divisioni variabili secondo una legge sinusoidale.

Il *dinamometro differenziale* (fig. 11-17 a) ha la massa pendolare P solidale ai due tamburi concentrici T, T' sui quali si avvolgono due lamine flessibili, la prima delle quali si collega ad un punto fisso C , mentre l'altra trasmette la forza F da misurare; quando questa interviene, si determina

la deviazione angolare α dalla posizione di riposo, e contemporaneamente lo spostamento verticale δ dell'asse di traccia O, a causa dell'avvolgimento

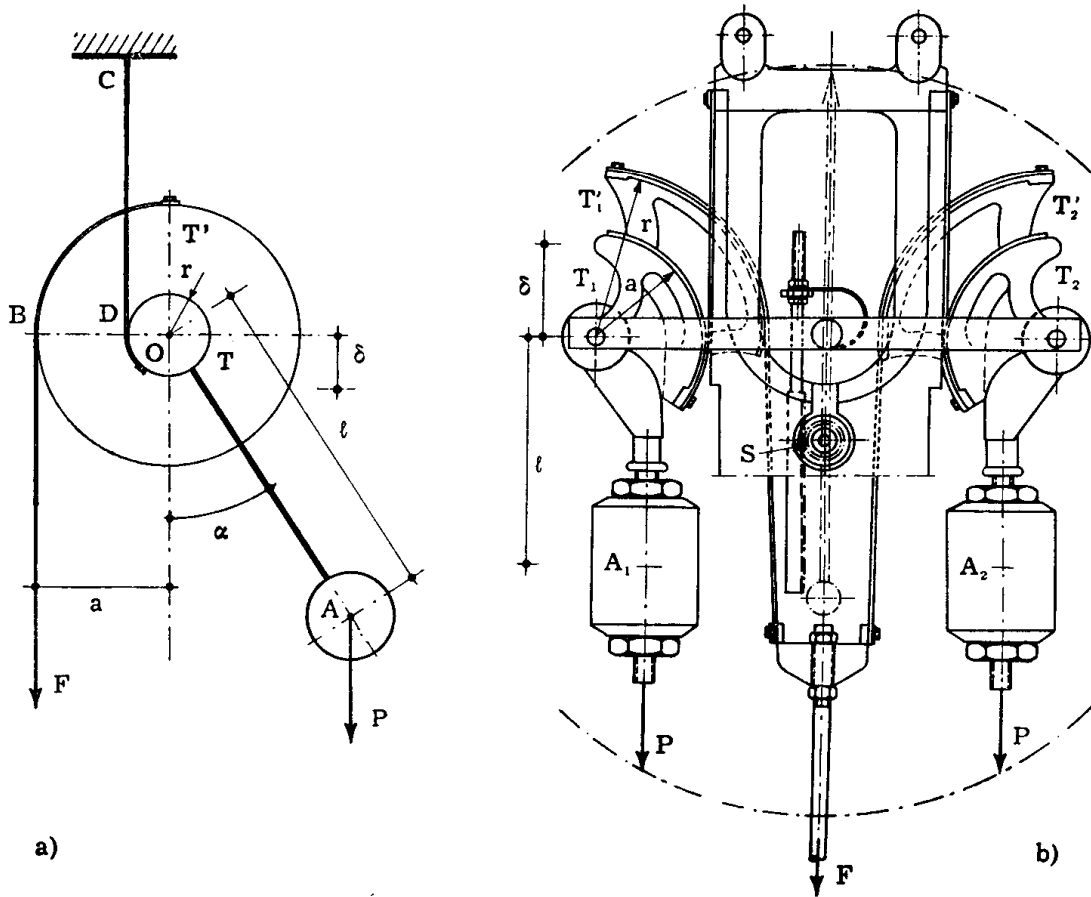


FIG. 11-17

delle lamine sui tamburi. Con i simboli di fig. 11-17 a, l'equazione di equilibrio intorno al punto D fornisce

$$F = P \frac{r + \ell \operatorname{sen} \alpha}{a - r} \quad (8)$$

In pratica l'apparecchio si realizza trasmettendo la forza F a due tamburi simmetricamente disposti, ciascuno dei quali ripete il dispositivo del dinamometro differenziale semplice. Dalla fig. 11-17 b, si rileva il principio sul quale si basa un dinamometro del genere (*dinamometro Toledo*), che presenta il vantaggio di poter funzionare con una precisione che è indipendente dalla verticalità del sistema allo zero; la misura della forza si traduce in quella dello spostamento verticale δ dell'equipaggio mobile, a mezzo del sistema S di cremagliera e pignone.

Il *pendolo Amsler* è il tipo di dinamometro più frequentemente usato nelle macchine idrauliche di prova. Esso è caratterizzato dal particolare valore scelto per l'angolo β , compreso tra l'asse OA del pendolo e quello OB della leva che trasmette il carico, che è uguale a 90° nei primi tipi di questo pendolo ed a 60° nei tipi moderni. L'asse pendolare OA (fig. 11-18) ha una appendice OD che comunica gli spostamenti del pendolo al sistema

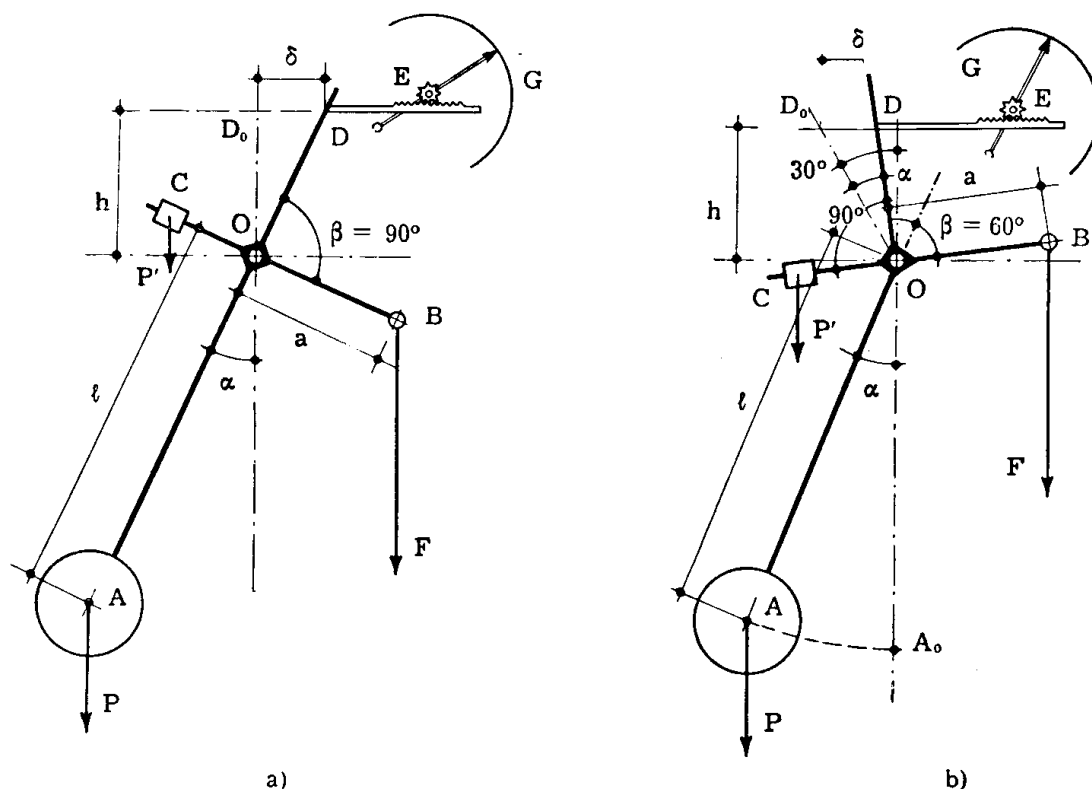


FIG. 11-18

di cremagliera e pignone E al quale si collega la lancetta del quadrante G di lettura; il piccolo peso P' situato all'estremità del braccio OC serve ad equilibrare quello dell'asta OB che è di robustezza e peso non trascurabili, dovendo trasmettere il carico da misurare.

Per $\beta = 90^\circ$ (fig. 11-18 a), in condizioni di equilibrio, si ha:

$$F = P \frac{l \operatorname{sen} \alpha}{a \cos \alpha} = \frac{P l}{a h} \delta, \quad (9)$$

dove δ è la componente orizzontale dello spostamento del punto D e h la distanza tra il centro di rotazione O e la retta secondo la quale scorre la cremagliera. Dalla (11-9) si rileva che, con l'opportuna scelta dell'angolo β , è possibile rendere lineare la relazione tra la forza F ed il parametro δ del-

lo spostamento, il che consente di utilizzare quadranti a graduazione lineare (*dinamometro rettificato*); il sistema ha però il difetto di avere una corsa che si effettua da un solo lato della verticale per O, e che deve essere quindi necessariamente limitata per evitare l'incepparsi della cremagliera ($\alpha \leq 45^\circ$). A ciò si ovvia facendo $\beta = 60^\circ$ (fig. 11-18 b) sicchè la posizione di riposo OD_0 dell'asta OD abbia un'inclinazione di 30° sulla verticale.

L'equazione del pendolo è in questo caso

$$F a \cos (30^\circ - \alpha) = P l \operatorname{sen} \alpha$$

da cui

$$F = \frac{P l}{a} \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{sen} (60^\circ + \alpha)}$$

Nel triangolo D_0DO , l'angolo in D è uguale a $120^\circ - \alpha$ e $\overline{D_0D} = \delta$; per proporzionalità tra lati e seni degli angoli opposti, essendo $\operatorname{sen} (60^\circ + \alpha) = \operatorname{sen} (120^\circ - \alpha)$, dalla precedente si ha

$$F = \frac{P l}{a} \frac{\overline{D_0D}}{\overline{OD_0}} = \frac{P l}{a h} \delta \cos 30^\circ ;$$

$$F = \frac{P l}{a h} \frac{\sqrt{3}}{2} \delta . \quad (10)$$

La (11-10) è lineare in δ come la (11-9), ma l'asta OD può spostarsi simmetricamente rispetto alla verticale di $\pm 30^\circ$, con possibilità di una corsa più ampia di quella del tipo precedente.

Dalle (11-9), (11-10) si rileva che i due ultimi tipi di pendolo sono a sistema rettificato; fissato il rapporto

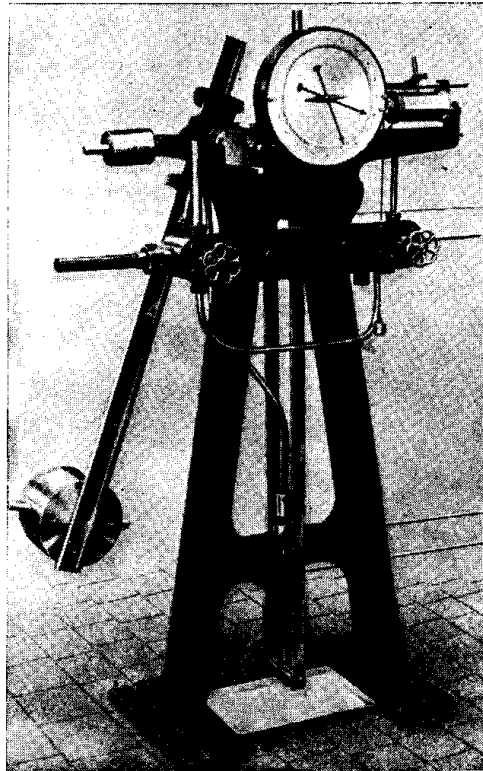
$$k = \frac{P l}{a h} , \quad (11)$$

lo spostamento δ è infatti proporzionale alla forza da misurare e la suddivisione del quadrante dell'apparecchio è lineare. In dipendenza del carico massimo F da raggiungere nel corso della prova, il rapporto (11-11) si può far variare in funzione del peso del disco pendolare P , o della distanza l , o infine di entrambe come accade per le macchine dotate di numerosi campi di sensibilità; l'intercambiabilità dei dischi P e la possibilità di farli scorrere lungo l'asta OA consentono tutte le combinazioni necessarie.

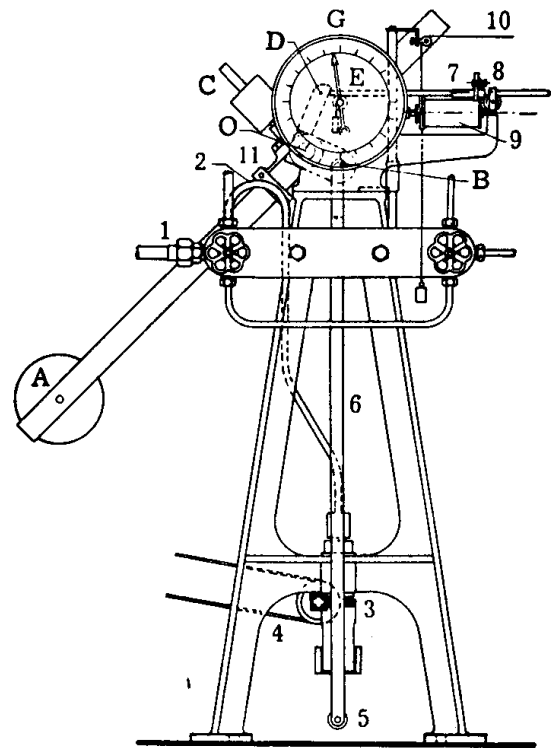
In fig. 11-19 a, è riportato un pendolo *Amsler* che, pur essendo di costruzione non recente, dà modo di rilevare con chiarezza il funzionamento

del dispositivo, che non è cambiato nei tipi più moderni; le parti fondamentali del dinamometro sono indicate in fig. 11-19 b con gli stessi riferimenti usati negli schemi delle precedenti figure.

Il dinamometro è collegato al martinetto della macchina di prova dal tubo 1; l'olio in pressione è successivamente trasmesso dal tubo 2 al cilindro 3 contenente il pistone riduttore che può scorrere praticamente senza attrito, essendo posto in moto rotatorio intorno al suo asse tramite il sistema di cinghia e puleggia 4,



a)



b)

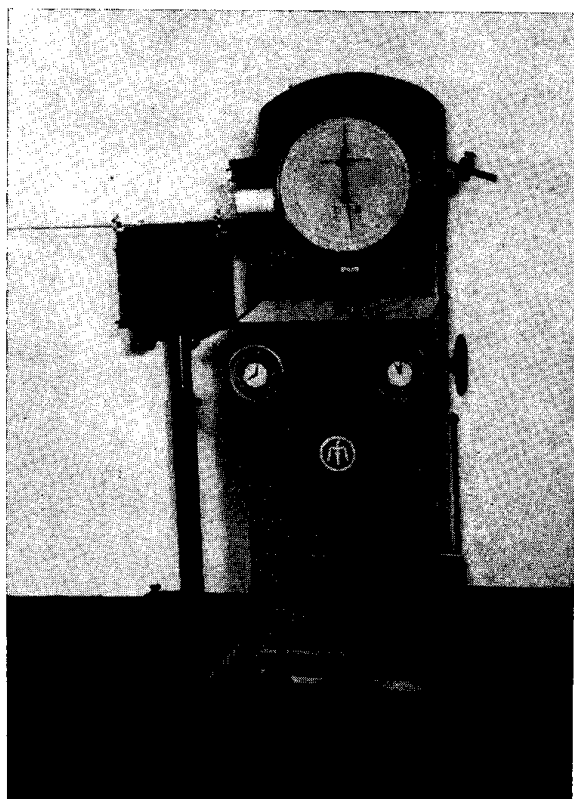
FIG. 11-19

comandato dal motore che aziona la pompa. Il pistone riduttore è spinto verso il basso dall'olio in pressione e determina così l'inclinazione del pendolo OA agendo, a mezzo della traversa 5 e dei tiranti 6, sull'asta OB inclinata di 60° sull'asse del pendolo; questo si inclina fino ad equilibrare lo sforzo agente sul pistone riduttore.

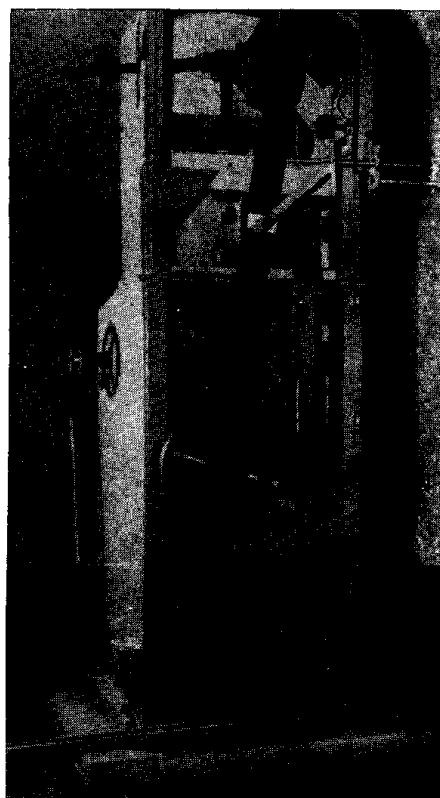
Il braccio OD fa traslare l'asta con cremagliera 7, che mette in moto col pignone E la lancetta mobile sul quadrante G. Alla stessa asta è collegata una punta scrivente 8 che, all'inclinarsi del pendolo, si sposta lungo una generatrice del tamburo 9 messo in rotazione, con velocità proporzionale a quella di deformazione del provino, tramite il filo 10 collegato alla parte in movimento della macchina; è possibile tracciare così il diagramma forze-spostamenti relativo alla prova che si va eseguendo. Facendo scorrere l'asta OA nel suo supporto 11 e intercambiando le masse pendolari A, è possibile ottenere numerose scale di sensibilità per la macchina collegata al dinamometro.

La fig. 11-20 è relativa al banco di comando di una macchina universale *Mohr e Federhaff* da 40 t, comprendente il dinamometro, la pompa, ed il dispositivo di regolazione della pressione dell'olio; il dinamometro consente cinque scale di sensibilità utilizzando un uguale numero di masse pendolari delle quali una è fissa e le altre quattro intercambiabili (fig. 11-20 a). La fig. 11-20 b mostra l'interno del banco e gli organi del dinamometro già descritti precedentemente; in basso si nota la pompa di alimentazione del martinetto ed il motore elettrico che la comanda.

Come si rileva dalle fig. 11-19 e 11-20, al banco di comando della mac-



a)



b)

FIG. 11-20

china è sempre annesso il quadrante di lettura del carico, situato in modo da poter controllare costantemente la velocità con la quale cresce il carico e cioè un fattore che influenza in modo non trascurabile il risultato di una prova.

Le *Norme Italiane per l'esecuzione delle opere in conglomerato semplice od armato* dispongono che le prove di rottura a compressione su provino cubico di conglomerato vengano eseguite facendo crescere lo sforzo con continuità in ragione di 10 Kg/cm² al secondo. Per le prove su provini di malta normale di cemento, le *Norme di accettazione dei leganti idraulici* precisano la velocità con la quale

deve crescere il carico nella prova di compressione e in quella di trazione: 20 Kg/cm^2 e 1 Kg/cm^2 al minuto secondo, rispettivamente nei due casi. Le Norme UNI, nelle tabelle 556 già citate, stabiliscono per la prova di trazione la velocità di macchina pari a 1 Kg/mm^2 al secondo, quando si debba determinare il carico unitario di snervamento R_s o quello al limite di deformazione permanente R_r o quello di scostamento dalla proporzionalità R_p ; in variante, fissa la velocità di allungamento che non deve superare lo 0,3 % della lunghezza tra i riferimenti, al minuto. Quanto precede vale per le prove condotte in fase elastica; per il campo plastico la velocità della macchina è stabilita in termini di deformazione e non deve superare il 40 % della lunghezza tra i riferimenti, al minuto.

L'esigenza di mantenere la velocità di prova costante ed uguale ad un prefissato valore può essere soddisfatta utilizzando dispositivi, azionati elettricamente o con movimento ad orologeria, che mantengono in movimento una lancetta-guida con velocità proporzionale a quella di au-

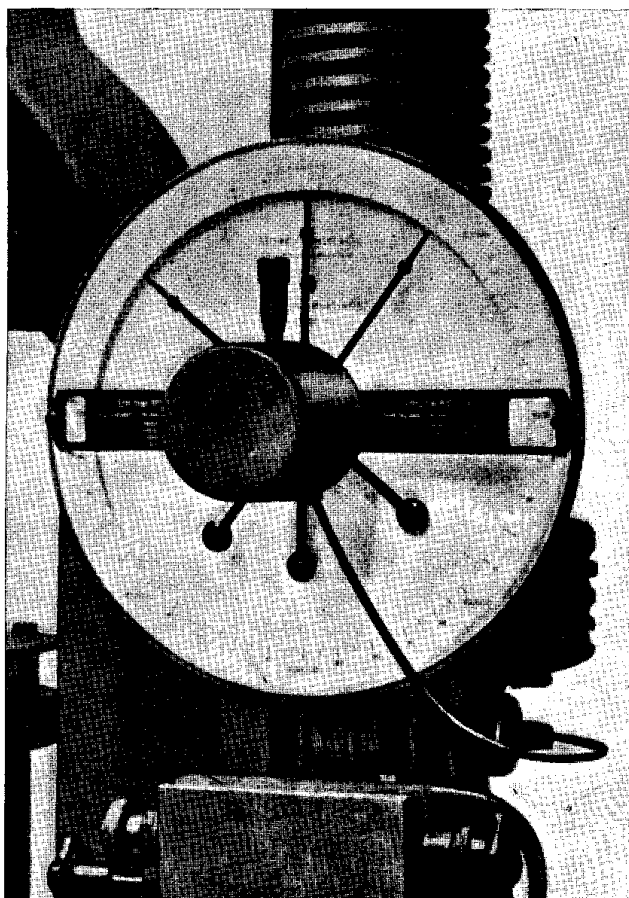


FIG. 11-21

mento del carico. Nel *cadenzometro Amsler* è adoperato un motore sincrono monofase con regolatore continuo di velocità, applicato, a mezzo di un ponte, concentricamente al quadrante del dinamometro, ed a poca distanza da esso (fig. 11-21). Il motore mantiene in movimento, a velocità

costante, una lancetta che si sposta davanti a quella del dinamometro; regolando opportunamente l'ammissione dell'olio della pompa al cilindro della macchina, si fa in modo che la lancetta del dinamometro segua costantemente quella del motore sincrono e cioè che sia costantemente ricoperta da quest'ultima. Il metodo è sufficientemente preciso per le usuali esigenze di laboratorio; maggiore esattezza si può ottenere con i regolatori automatici della velocità di messa in carico.

4. Organi per la trasmissione del carico al provino.

In gran parte dei casi il dispositivo di macchina che ha la funzione di trasmettere il carico al provino è costituito da un telaio chiuso, formato dal basamento della macchina, da due o quattro colonne ad esso collegate,

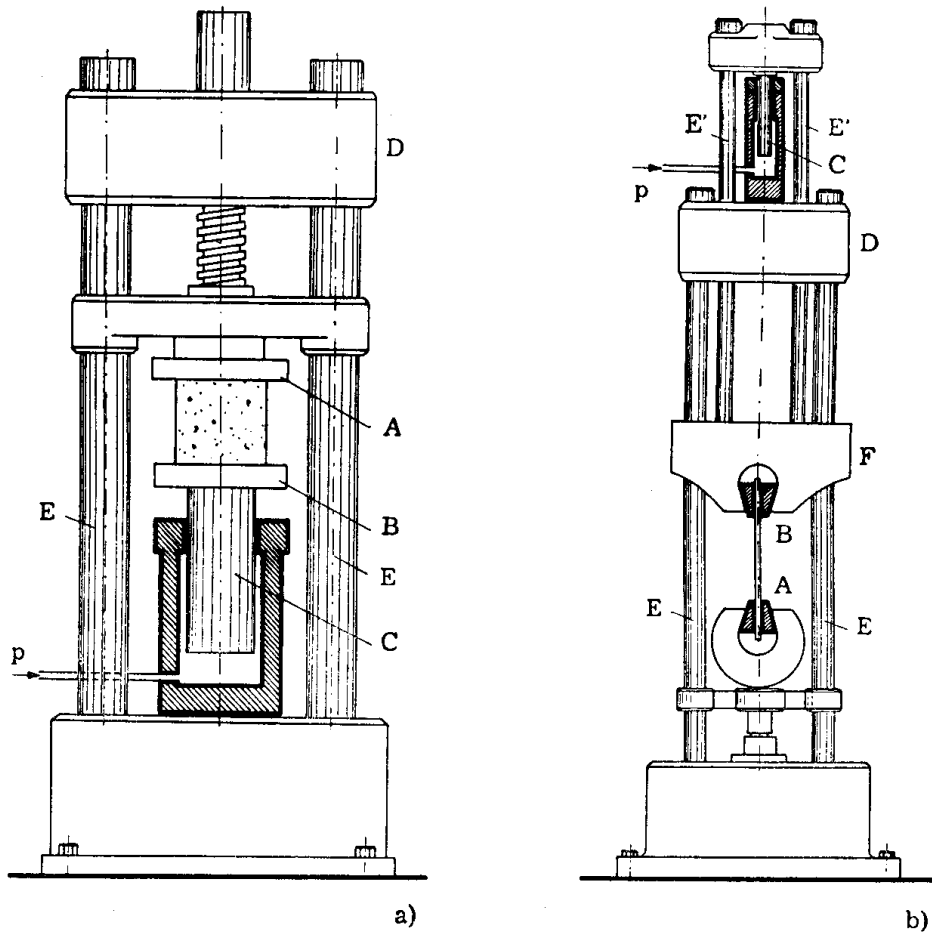


FIG. 11-22

e da una traversa (fig. 11-22); il provino è sistemato nel telaio e riceve lo sforzo attraverso elementi di fissaggio adatti al tipo di prova da eseguire.

In fig. 11-22 a, è riportato lo schema di una macchina per prova a compressione. Il provino è serrato tra una piastra fissa A ed una B mobile con il pistone C; la piastra di contrasto è solidale con la traversa D e rinvia, attraverso le colonne E, il carico al basamento della macchina. Nel caso di una macchina di trazione, (fig. 11-22 b) il provino è vincolato con la ganascia A al basamento, e con quella B alla traversa mobile F; questa è solidale col pistone C tramite le colonne di trasmissione E'. La traversa D e le colonne E costituiscono il telaio di macchina, chiuso dal basamento.

Il telaio deve essere realizzato con elementi di notevole rigidezza;

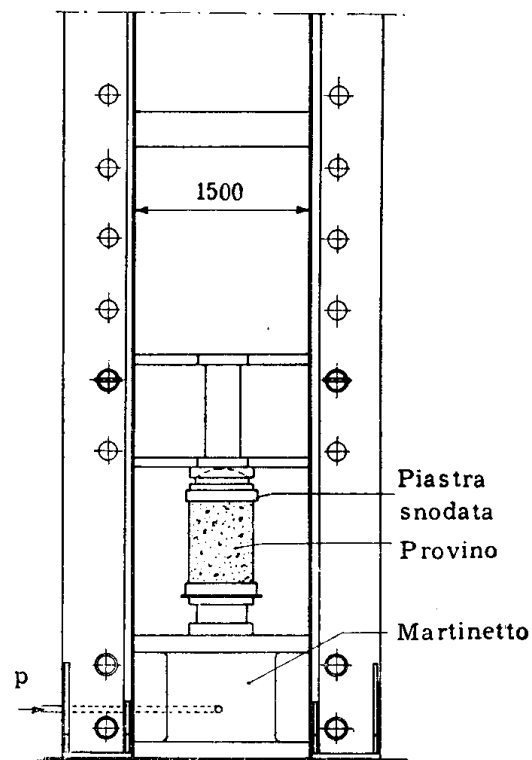
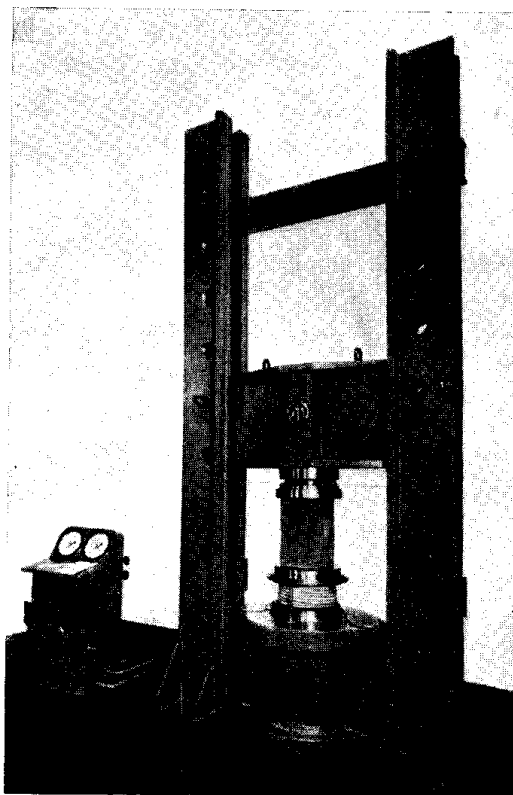


FIG. 11-23

gli effetti flessionali, derivanti da eventuali eccentricità dello sforzo applicato al provino, si ripartiscono infatti, tra quest'ultimo e le colonne, come in un unico complesso telaio-provino: in una macchina con membrature di rigidezza tale da poter considerare trascurabile quella del provino, l'effettiva eccentricità risulta notevolmente ridotta rispetto a quella geometrica, poichè buona parte dell'azione flettente viene assorbita dal telaio; il contrario accade nelle macchine a telaio flessibile.

Quanto precede ha una importanza non trascurabile, come si rileva osservando che alcune cause di eccentricità dello sforzo rispetto al baricentro di figura del provino sono sempre presenti: se infatti è possibile,

con una accurata costruzione della macchina, ridurre od eliminare le eccentricità derivanti dagli organi di attacco, o dalla inclinazione dell'asse del martinetto su quello della macchina, restano sempre quelle che dipendono dalla non perfetta geometria ed omogeneità del provino; ne possono derivare la rottura prematura del provino stesso, o in generale errori di misura. Va infine ricordato che nelle macchine con telaio poco rigido sono da temere fenomeni di instabilità del complesso telaio-provino. Dalla fig. 11-23, relativa ad una pressa *Mohr e Federhaff* per carichi fino a 1000 t, è possibile rilevare la rigidità che viene conferita al telaio delle macchine di questo tipo.

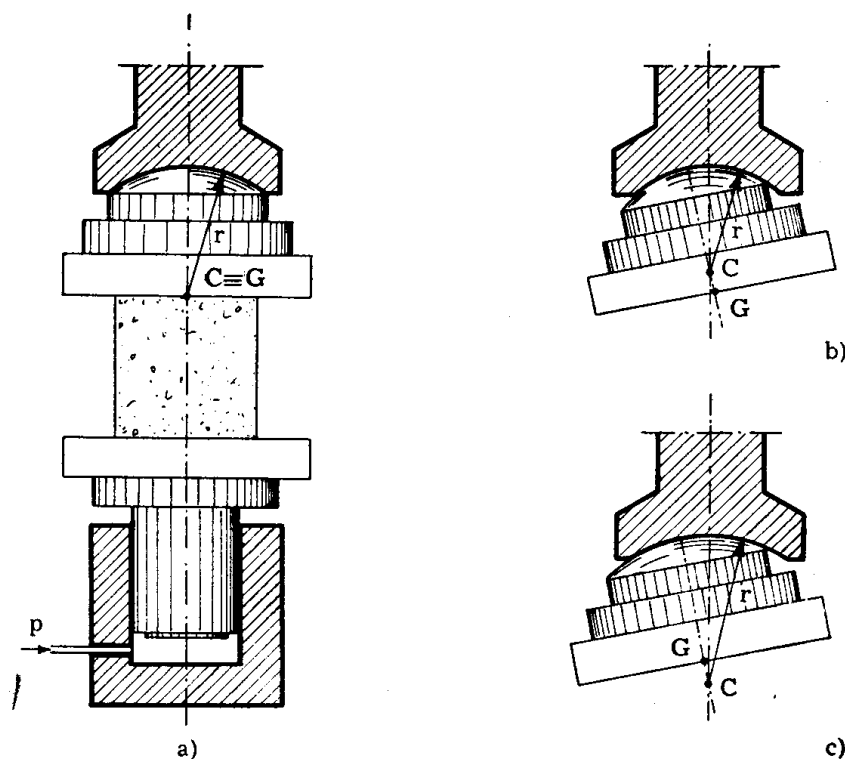


FIG. 11-24

Nelle macchine per prova di compressione il provino è serrato, come si è detto, tra due piastre di acciaio; queste devono essere molto rigide, perfettamente piane, e realizzate con acciaio di elevata durezza. La piastra superiore è dotata di snodo sferico per consentire una buona sistemazione relativa delle superfici a contatto, anche in presenza di piccoli errori di parallelismo tra le facce del provino; il centro di curvatura C dello snodo (fig. 11-24 a) deve trovarsi sull'asse secondo il quale si esercita lo sforzo, ed essere ubicato sul piano di contatto col provino. Con quest'ultimo accorgimento si evitano gli spostamenti trasversali del baricentro G del piatto, che possono avvenire in corso di prova se il centro di curvatura è situato al disopra o al disotto della superficie di contatto (fig. 11-24 b, c); ciò comporterebbe il sorgere di componenti orizzontali dello sforzo e la

possibilità di spostamenti del provino. Generalmente lo snodo resta bloccato durante la prova per evitare che la rotazione della piastra, sotto il carico applicato, conduca, nei materiali non omogenei, alla rottura determinata da cedimenti localizzati, invece che dalla crisi generale e contemporanea del materiale su tutta la sezione del provino; ne sarebbe conseguenza l'ottenere dalla prova la resistenza minima di quella parte del

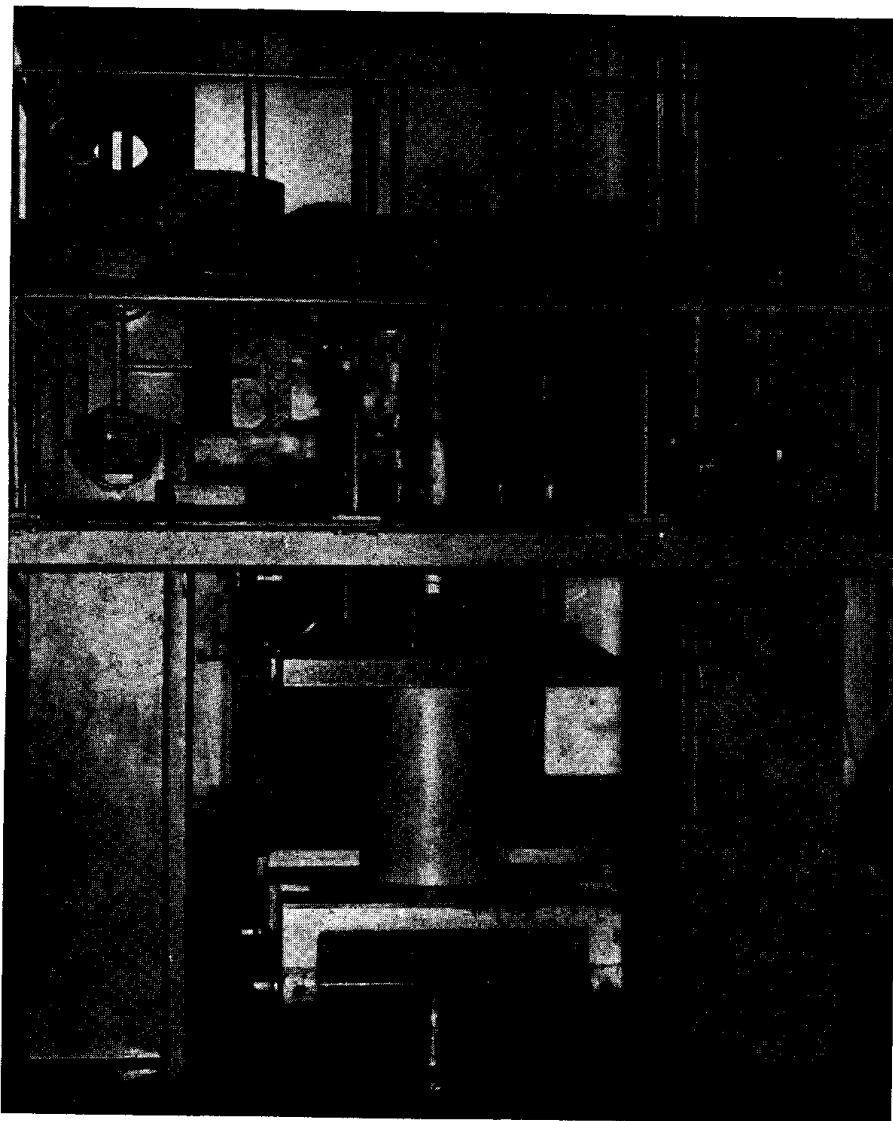


FIG. 11-25

materiale che innesca la rottura, invece di quella media che più interessa agli effetti del reale comportamento del materiale in una struttura. Il bloccaggio dello snodo si ottiene per tenuta ad attrito nella sua sede e perciò si fa il diametro della relativa sfera piuttosto grande, generalmente non molto diverso dalla dimensione trasversale media del provino.

La fig. 11-25 si riferisce ad una pressa *Mohr e Federhaff* da 500 t,

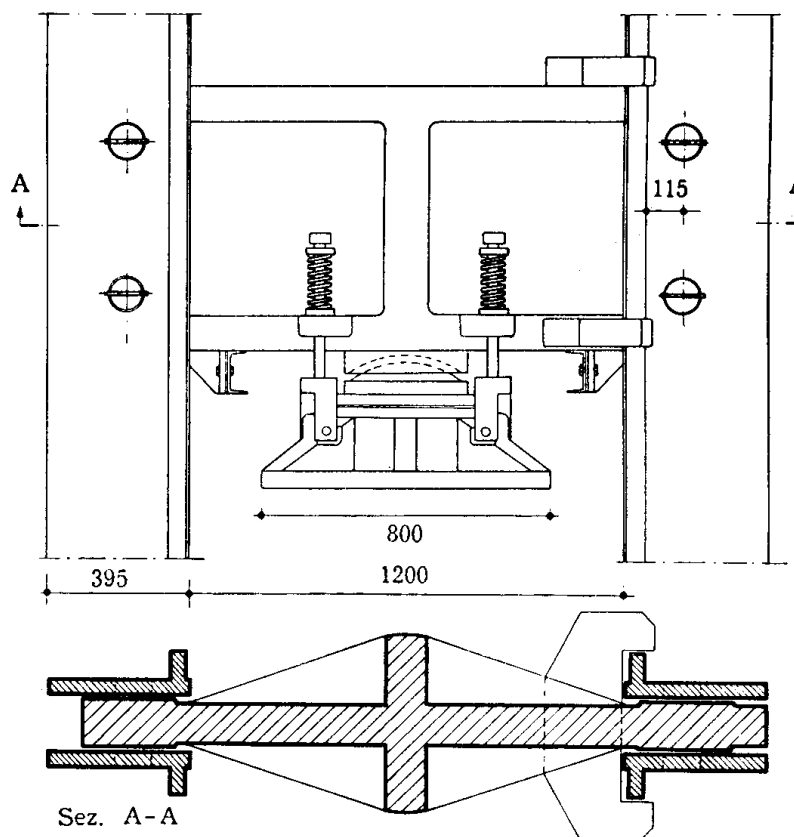
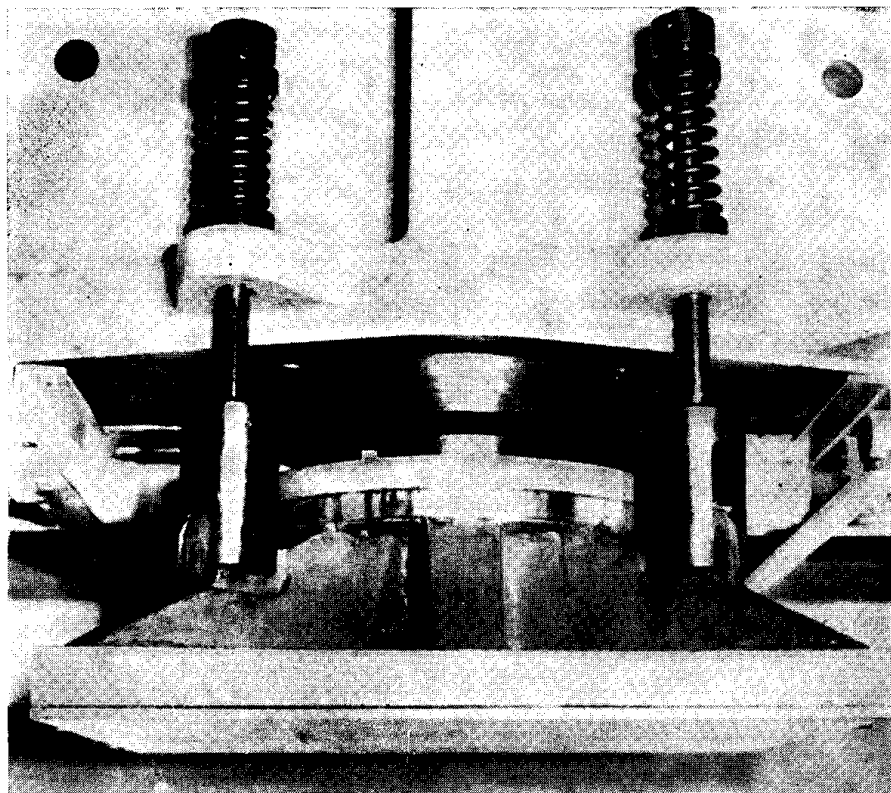


FIG. 11-26

allestita per la prova a compressione su provino cilindrico; la macchina ha il martinetto a livello di un piano di carico, fornito di rotaie, per situare in posizione di prova grandi provini o modelli, a mezzo del carrello che viene alloggiato sul pistone. La fig. 11-26 riporta i particolari della traversa, spostabile a diverse altezze in funzione delle dimensioni del provino, e della piastra superiore snodata e irrigidita da nervature; la piastra è sospesa elasticamente nella posizione di riposo e va in contrasto con la sua sede sferica all'atto della prova.

Anche nelle macchine adibite a prove di trazione, come nelle precedenti, è fondamentale assicurare la trasmissione continuamente centrata dello sforzo ed eliminare le cause che determinano il sorgere di coppie flettenti e, nel caso in esame, anche di torsione. Un ulteriore problema si pone nei riguardi del fissaggio del provino alla macchina: le relative apparecchiature devono infatti assicurare un serraggio che garantisca contro lo sfilamento, ed avere nello stesso tempo caratteristiche tali da evitare rotture premature per concentrazione di tensione o per intaglio superficiale delle estremità della provetta.

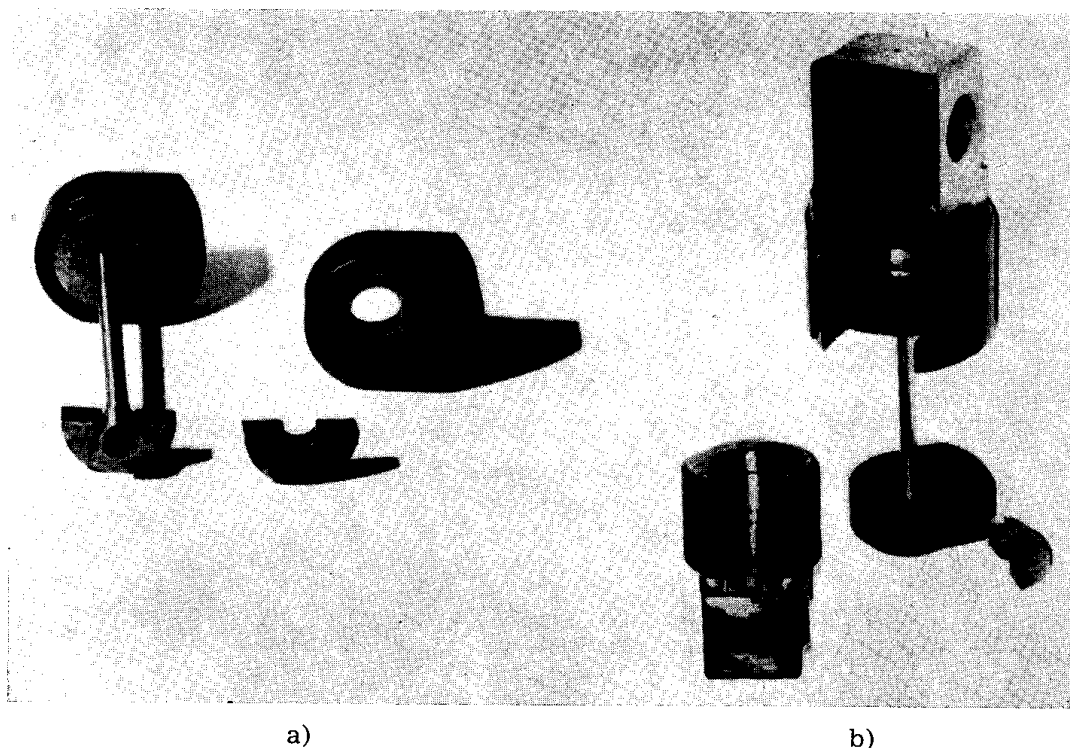


FIG. 11-27

Diversi tipi di attacchi vengono adoperati per la prova a trazione su provini metallici, in dipendenza della forma che si conferisce a questi ultimi: se la provetta è cilindrica, spesso è fornita alle estremità di teste di

attacco che hanno diametro maggiore rispetto alla parte centrale, e che a questa si raccordano con profilo adatto ad evitare concentrazioni di tensione; le teste vengono alloggiare in anelli ricavati in due pezzi come si rileva dalla fig. 11-27 a. La fig. 11-27 b mostra come la provetta, corredata con gli anelli suddetti, viene inserita nelle ganasce solidali con la macchina.

Le provette cilindriche senza espansioni vengono invece disposte con le estremità serrate entro due morsetti forniti di un intaglio longitudinale,

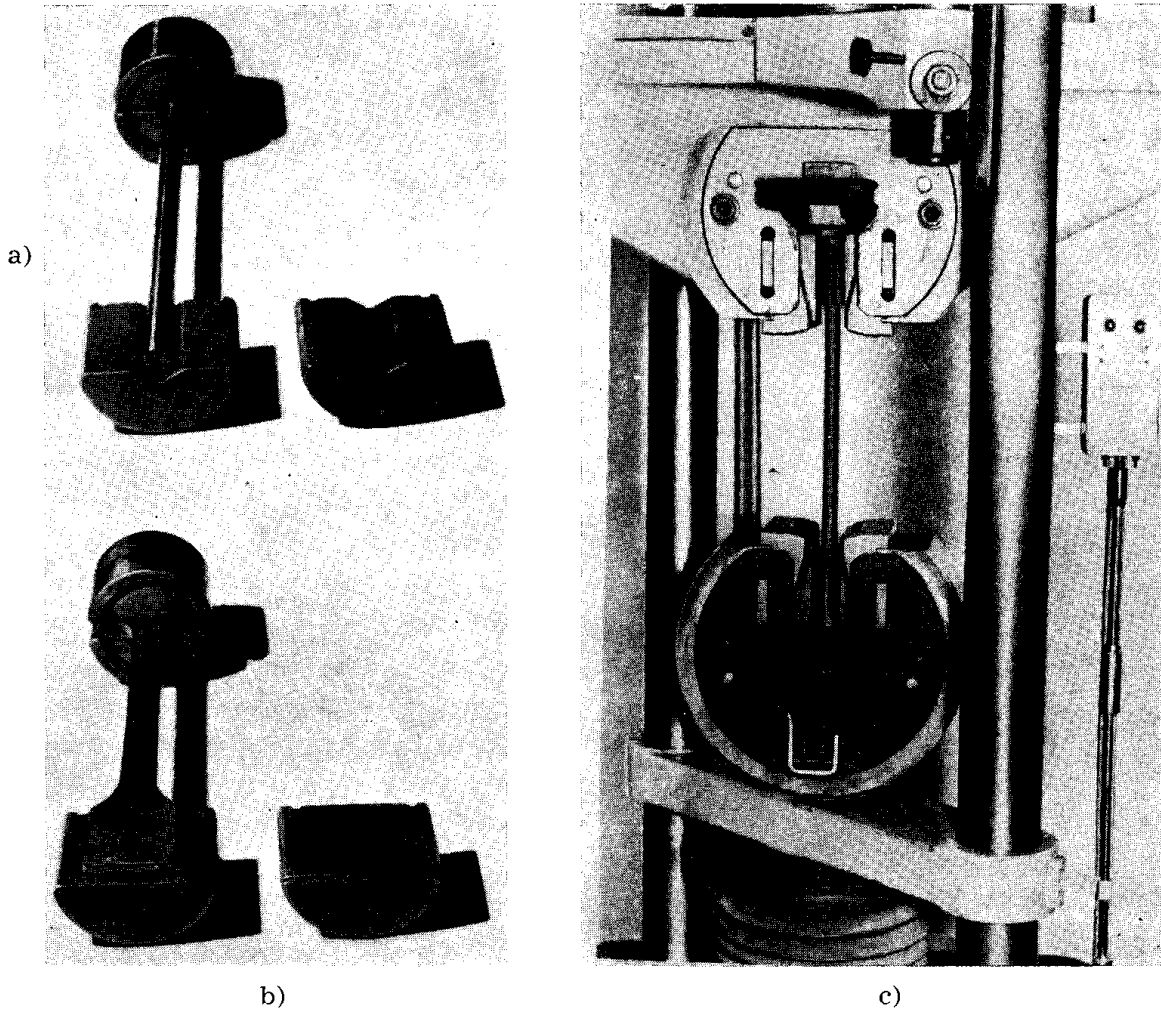


FIG. 11-28

striato (fig. 11-28 a); per quelle di tipo piatto si adoperano morsetti a superficie piana, anch'essa striata (fig. 11-28 b). I morsetti, in questi casi, vengono a loro volta fissati in ganasce portamorsetti, studiate in modo che i loro spostamenti, conseguenti allo sforzo di trazione applicato al provino, siano contemporanei ed uguali ed avvengano con aumento della pressione di serraggio. Ciò si rileva dalla fig. 11-28 c relativa al dispositivo

di ammassaggio di una macchina universale *Mohr e Federhaff* da 40 t approntata per la prova di trazione su barretta cilindrica senza teste: sono visibili i morsetti, direttamente a contatto con il provino, le ganasce nelle quali essi si alloggiavano, ed i piani inclinati lungo i quali queste ultime scorrono, assestandosi nella fase iniziale della prova, con il conseguente aumento del serraggio della barretta.

Le striature possono creare intagli che determinano la rottura all'attacco per indebolimento locale della sezione. Ciò accade per metalli molto duri, in particolare se si tratta di fili; vi si può ovviare con fascia-

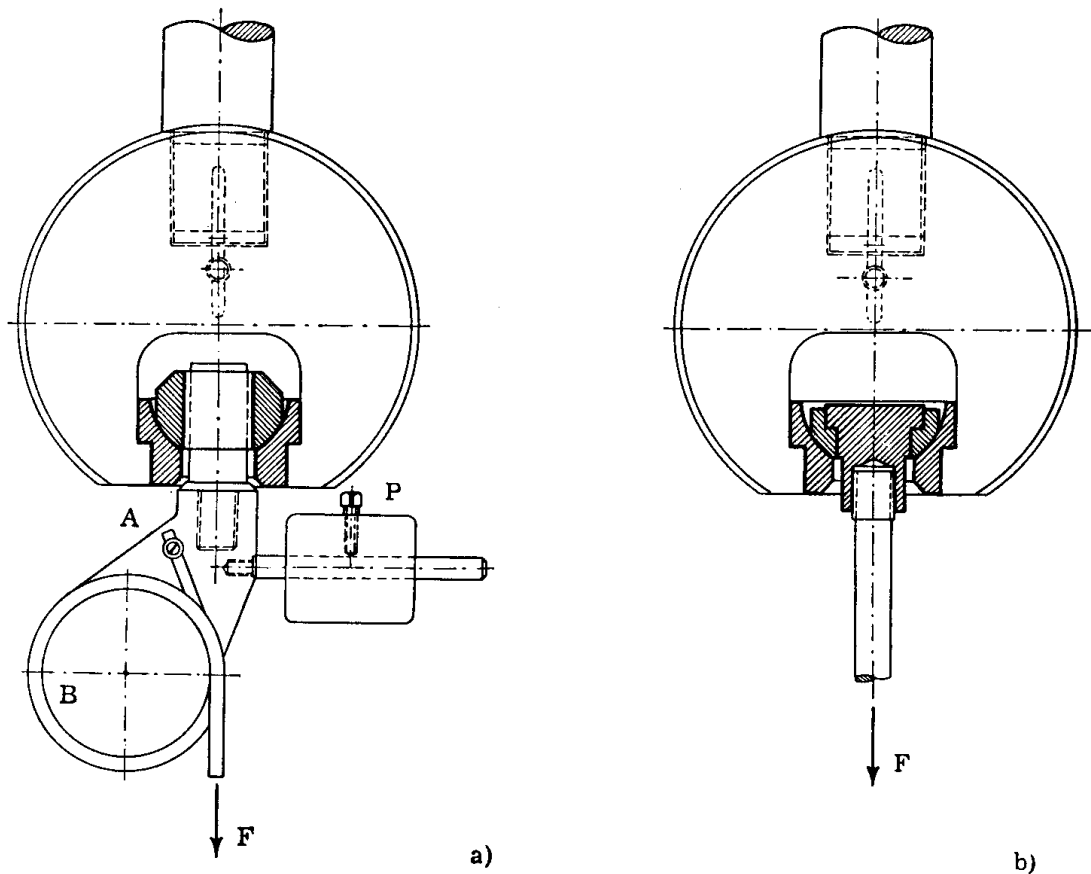


FIG. 11-29

tura delle estremità della provetta, ottenuta con materiale plastico, o con una ben serrata spirale di filo di acciaio meno duro. Per fili o per cavi sottili si impiega anche l'ancoraggio per attrito (fig. 11-29 a); il provino viene fissato in A all'attrezzo ammorsato nella macchina, e si avvolge sul tamburo B, eccentrico rispetto all'asse del martinetto e contrappesato dalla massa P; sul perimetro del tamburo si sviluppano le forze di attrito sufficienti ad equilibrare il carico di prova F. Le provette corte di acciaio sono spesso realizzate con testa filettata e si fissano alle ganasce con le modalità di fig. 11-29 b).

Nel caso di materiali metallici, le Norme UNI (tabella 556) così definiscono le caratteristiche geometriche delle provette da sottoporre a prova di trazione: esse possono avere sezione circolare con diametro d non inferiore a 4 mm (fig. 11-30 a), quadrata o rettangolare con rapporto dei lati non inferiore a 1/4 (fig. 11-30 b); in casi particolari la forma della sezione può essere qualsiasi. Nella provetta di lunghezza totale L_t e sezione iniziale S_0 , si distingue una parte calibrata di lunghezza L_c che deve essere raccordata alle teste ricavate alle estremità; le teste possono

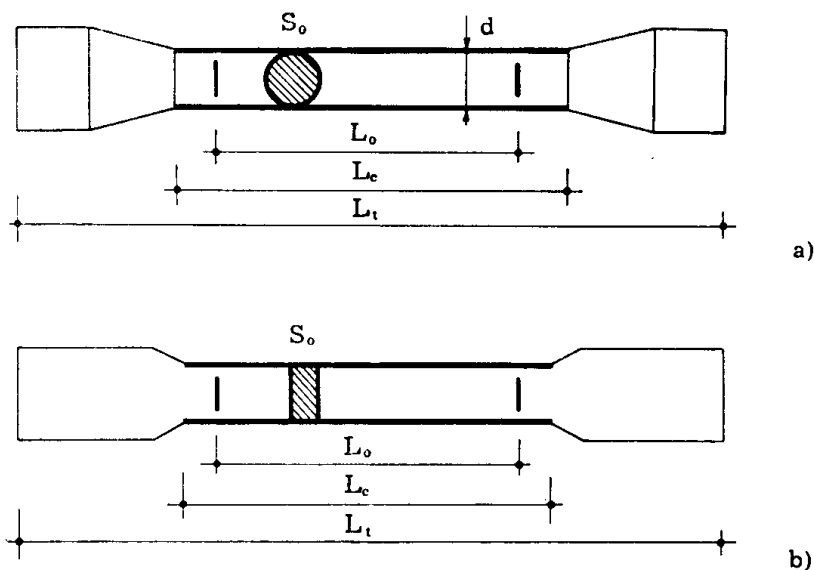


FIG. 11-30

avere forma qualsiasi, purchè adatta ai dispositivi di serraggio della macchina di prova.

Sulla parte calibrata vengono incise delle tacche che delimitano la *lunghezza iniziale tra i riferimenti* L_0 . Di regola si pone

$$L_0 = k \sqrt{S_0} \cdot$$

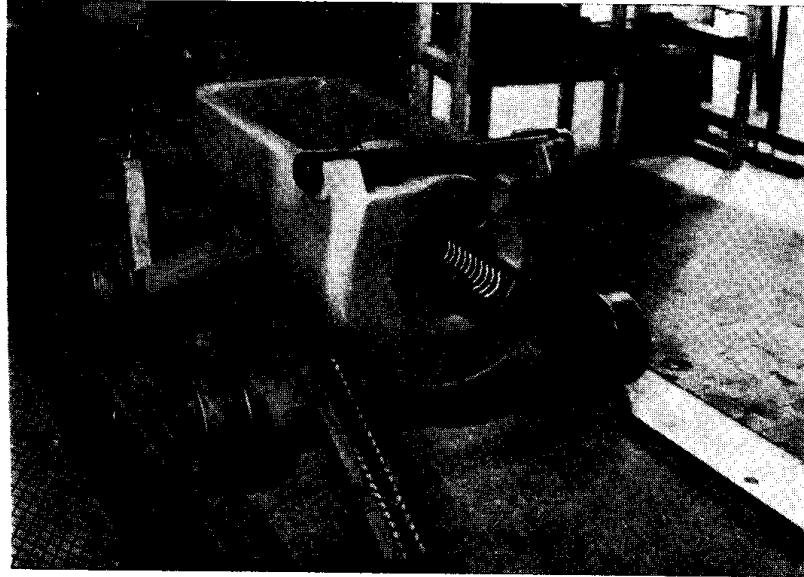
dove k ha il valore 5,65 corrispondente, nel caso di una provetta circolare di diametro d , ad una lunghezza $L_0 = 5d$. In questo modo si realizza la *provetta proporzionale*; è consentito adottare una *provetta non proporzionale*, e cioè con la lunghezza tra i riferimenti indipendente dalla sezione, solo per particolari ragioni, ad esempio per le ridotte dimensioni dei pezzi dai quali si devono ricavare i provini.

La lunghezza della parte calibrata deve rispettare la disuguaglianza

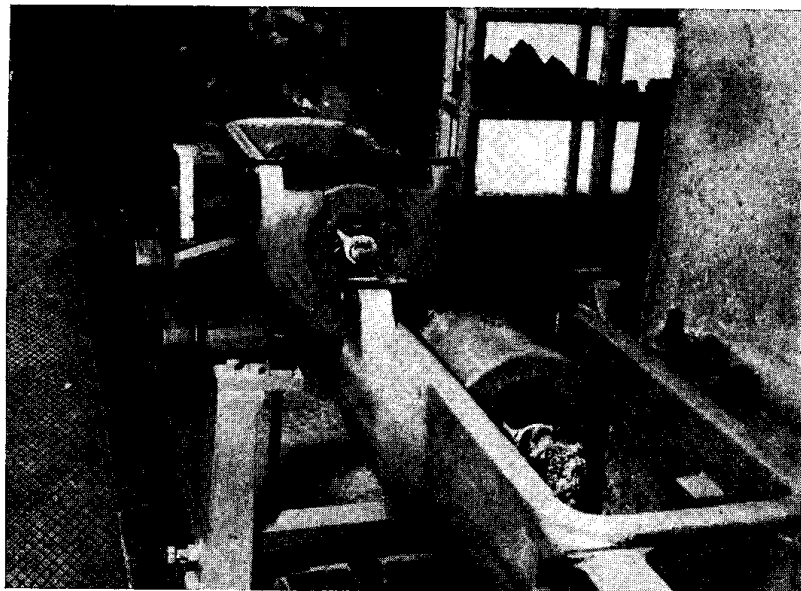
$$L_0 + \frac{d}{2} < L_c < L_0 + 2d ,$$

dove, nel caso di provetta con sezione diversa da quella circolare, d rappresenta il diametro del più piccolo dei cerchi che si possono circoscrivere alla sezione, involupandola ma senza passare necessariamente per più di due vertici.

Il problema della rottura prematura all'attacco è particolarmente sentito nel caso della prova di trazione su cavi vegetali, poichè le pressioni di serraggio, corrispondenti ad elevati sforzi di trazione, possono



a)



b)

FIG. 11-31

causare la recisione dei fili elementari costituenti il cavo, nella sezione all'uscita dai morsetti. La prova è resa inoltre difficoltosa per la fuoriuscita dell'olio contenuto nelle fibre del cavo stesso, il quale peraltro subisce

una sensibile riduzione di diametro al crescere del carico; tutti questi fattori rendono non facile una buona ammorsatura degli estremi del provino. In fig. 11-31 è riportato il dispositivo di *M. Pagano* (*) ideato per eliminare le suddette difficoltà di serraggio: il cavo è ammorsato con terne di cunei di grande rigidezza, molto lunghi e con sezione tale da interessare solo una parte del perimetro del cavo, all'inizio della prova (fig. 11-31 a). La superficie interna dei cunei è solcata da intagli di profilo particolare e tale da escludere il pericolo di recisione dei fili elementari. Ulteriori accorgimenti consistono nella fasciatura delle estremità del cavo con avvolgimento di corda sottile, intasato con polvere di gesso per l'assorbimento degli oli di lavorazione del cavo; l'assetto di prova è visibile in fig. 11-31 b.

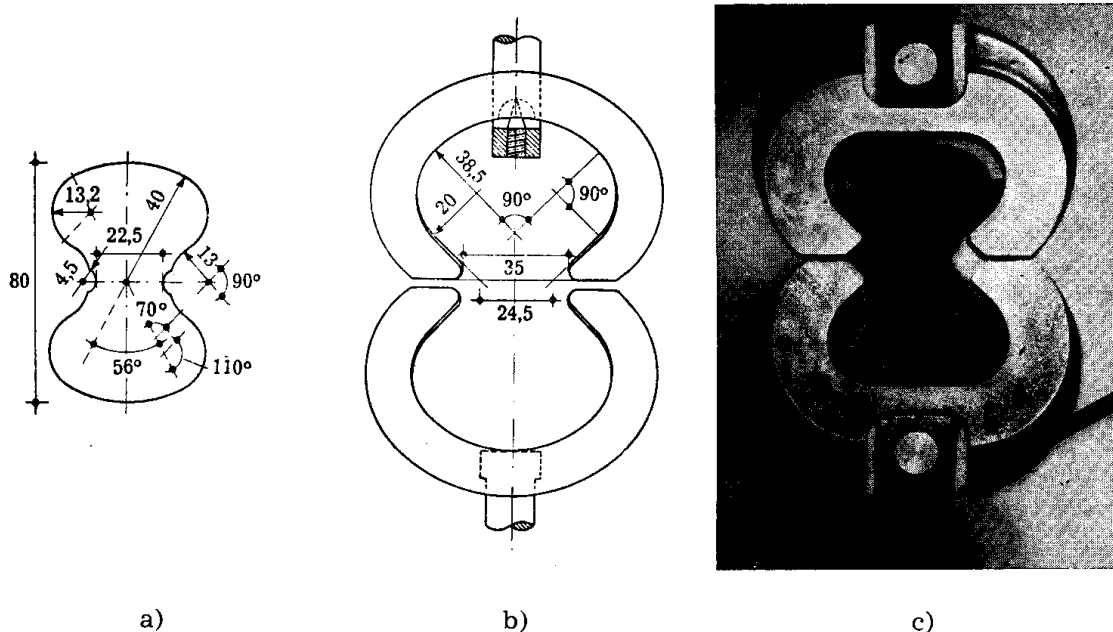


FIG. 11-32

Nelle prove di trazione sui cementi si adoperano provini di malta che, pur essendo di dimensioni variabili secondo le norme di ciascuna nazione, non differiscono molto in quanto alla forma. La provetta è del tipo piatto, a doppia testa, con una zona ristretta nella parte centrale, per localizzare con certezza la sezione di rottura; essa viene confezionata entro stampi regolamentari, secondo precise modalità, e sottoposta a prova, dopo opportuna stagionatura, fissandone le estremità alla macchina con apposite branche. La forma e le dimensioni che le Norme Italiane indicano per il provino e per il dispositivo di fissaggio, si rilevano dalla fig. 11-32 a, b; la

(*) M. PAGANO: « *Sul perfezionamento di alcune apparecchiature sperimentali* », Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Ingegneria - Napoli.

sezione predisposta alla rottura ha, secondo le norme citate, un'area di 5 cm^2 . La fig. 11-32 c mostra la provetta fissata in una macchina *Officine Galileo* per prove di trazione e di flessione su campioni di malta di cemento.

In alcuni casi la prova di trazione si esegue su campioni di conglomerato; essa può essere richiesta se quest'ultimo è impiegato nella costruzione di serbatoi o condotte d'acqua, od anche in strutture in calcestruzzo precompresso, e cioè quando si ammettono sforzi di trazione nel materiale, con adeguati margini di sicurezza nei riguardi della fessurazione. Varie sono le modalità adottate per fissare il provino alla macchina; quella illustrata dalla fig. 11-33 a si riferisce al tipo con ammarraggi che

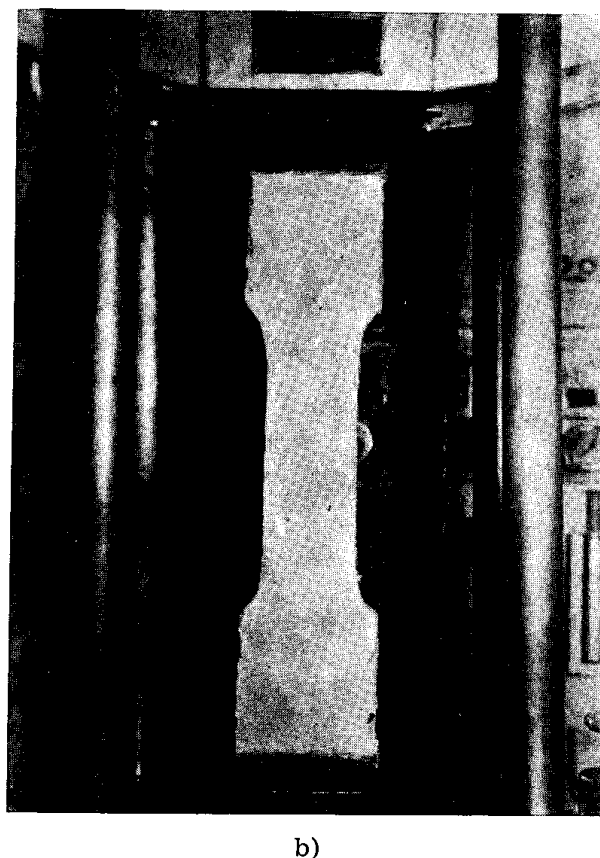
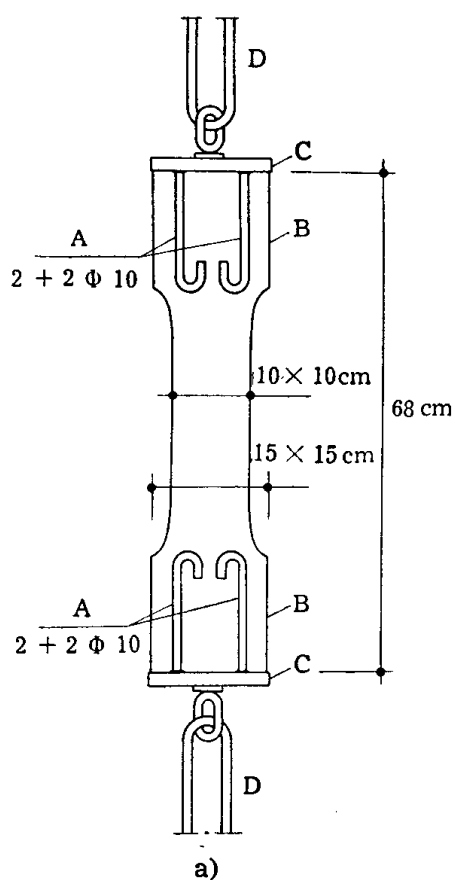


FIG. 11-33

trasmettono lo sforzo di trazione per aderenza (*). I tondini A sono annessi nelle espansioni B del provino e collegati alle piastre terminali C

(*) Il dispositivo è quello usualmente adottato, per le prove suddette, nel Laboratorio Prove dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni della Facoltà di Ingegneria di Napoli.

che recano gli elementi metallici D, da serrare nella macchina di trazione con i morsetti adoperati per le provette piatte di acciaio; la disposizione nella macchina all'atto della prova si rileva dalla fig. 11-33 b. Secondo altre modalità, le teste del provino poggiano su ammarraggi cilindrici tramite un collare torico in caucciù, oppure sono suggellate con materiale plastico all'interno di scatole cilindriche di acciaio (*Prot*).

Nelle prove di flessione, sia i vincoli che il dispositivo per l'applicazione del carico devono essere realizzati in modo da non indurre, in corso di prova, impreviste sollecitazioni dovute a torsione od a flessione; è poi essenziale che non si destino negli appoggi reazioni orizzontali dovute all'attrito, e per le quali possano crearsi sforzi di trazione. Il provino è appoggiato su sostegni cilindrici, liberi di ruotare intorno al proprio asse, e riceve il carico tramite un elemento, anch'esso cilindrico, costituente la parte terminale del pistone del martinetto (fig. 11-34). Diverse condizioni di carico si ottengono con l'interposizione di robuste traverse e di rulli come nella prova riportata in fig. 11-34; la trave è caricata con due forze con-

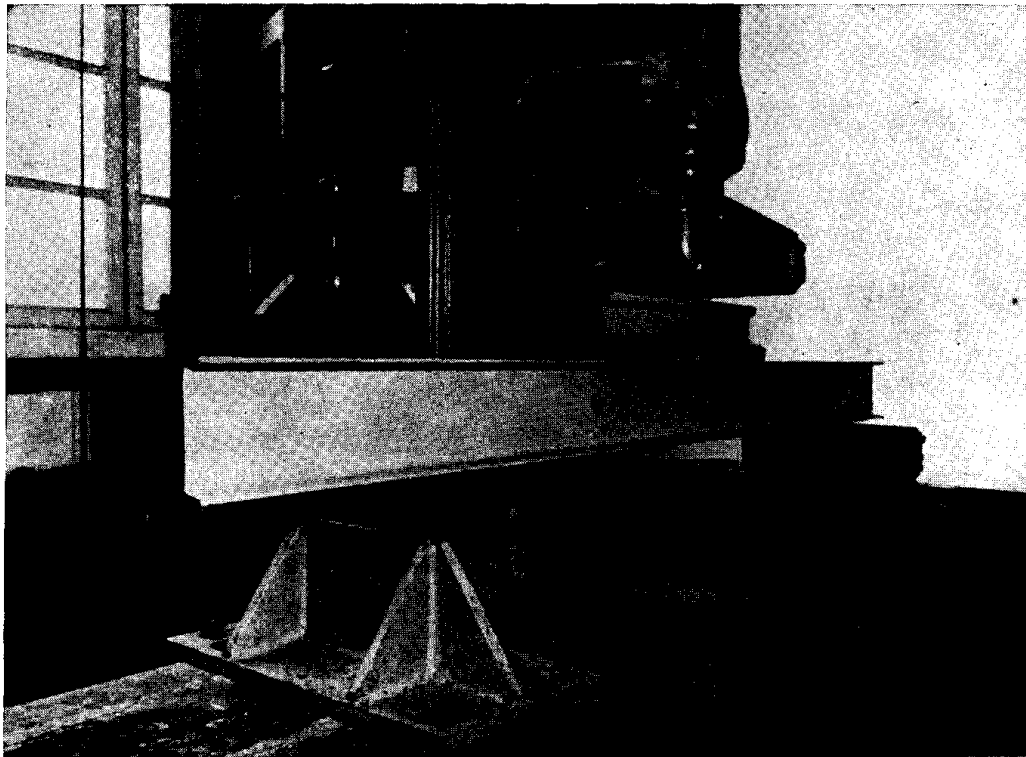


FIG. 11-34

centrate, simmetricamente disposte rispetto alla mezzzeria, in modo da ottenere momento costante nella parte centrale del solido. Nelle prove richiedenti notevole precisione è necessario rendere mobile uno degli appoggi e talvolta conferire alle sezioni vincolate libertà di movimento anche nel pia-

no trasversale, sovrapponendo ai rulli una piastra cilindrica con generatrici ortogonali all'asse dei rulli stessi, o disponendo opportuni snodi per questi ultimi (fig. 11-34).

Nel caso di provini di piccole dimensioni, la prova di flessione si può eseguire con dispositivi che vengono fissati ad una macchina di compressione o di trazione; è questo il caso indicato in fig. 11-35 e relativo ad una

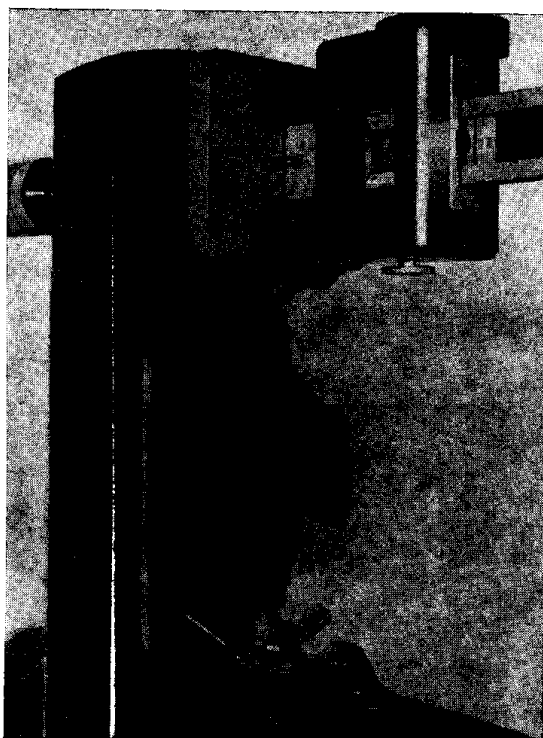


FIG. 11-35

prova di flessione eseguita su provino di cemento $4 \times 4 \times 16$ cm, secondo le Norme Svizzere; è adoperata una macchina *Officine Galileo* per prove di trazione, attrezzata con il dispositivo ausiliario per la flessione.

Nelle macchine di torsione, le estremità del provino sono strette, a mezzo di morsetti conici, entro mandrini autocentranti a serraggio automatico che premono sulle estremità della barretta tanto più quanto maggiore è il momento torcente. I morsetti sono a scanalature dentate per le provette cilindriche o a superficie di contatto striata per quelle piatte; se si tratta di provini tubolari, il serraggio avviene disponendo un mandrino entro ciascuna delle estremità del tubo.

In alcune macchine *Amsler* per prove di torsione statica o dinamica, l'ammarraggio delle provette (fig. 11-36) avviene a mezzo di flange A, fissate per attrito lungo il bordo esterno da speciali viti di pressione B; la provetta C è resa a sua volta solidale con la flangia per unione con viti

o per cerchiatura a caldo od a freddo. Questo sistema presenta il vantaggio di evitare il contatto delle estremità della barretta con la superficie scanalata dei morsetti; eliminata così la possibilità che si creino effetti di intaglio, il provino non ha più bisogno di grosse espansioni alle estremità, ma soltanto di una sagomatura tronco-conica, di diametro poco superiore

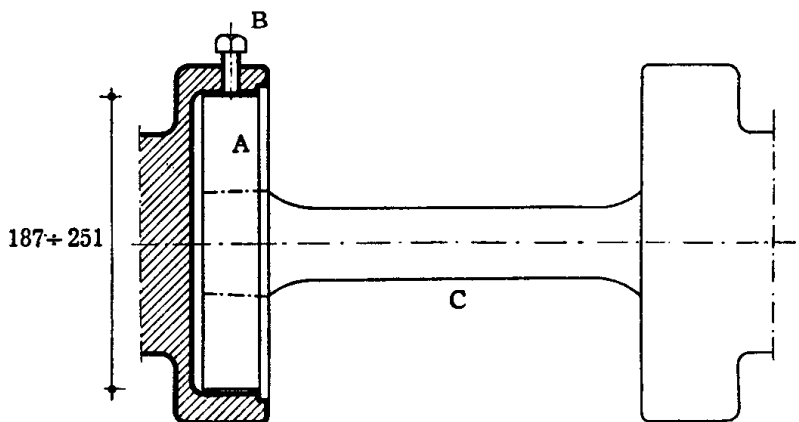


FIG. 11-36

a quello della parte centrale calibrata. La cerchiatura a freddo delle flange sulle parti terminali della barretta, avviene per rigonfiamento di queste ultime sotto pressione d'olio (procedimento SKF); le flange possono essere staccate dopo la prova e di nuovo calettate su altri provini.

5. Macchine di prova universali.

Numerose prove meccaniche, tra le più ricorrenti nella pratica di laboratorio, possono eseguirsi con un solo tipo di macchina, se le dimensioni dei provini e gli sforzi da esercitare non eccedono determinati valori limiti, oltre i quali è necessario adoperare macchine di specifica utilizzazione. Per le molteplici possibilità di impiego, un siffatto dispositivo prende il nome di *macchina di prova universale*; la fig. 11-37 ne dà lo schema di funzionamento (*Mohr e Federhaff*).

Il banco di comando comprende il sistema di alimentazione della macchina e quello di misura del carico di prova; la pompa A, azionata da un motore elettrico, mette in pressione l'olio che fluisce ad un regolatore di portata B combinato con il rubinetto di ammissione e perviene quindi, con la tubazione C, al martinetto D, mettendo in movimento, tramite il pistone E e le colonne di trasmissione F, la traversa mobile G; a questa si collegano i dispositivi per trasmettere il carico al provino, nelle condizioni relative ai vari tipi di prova. La tubazione H deriva l'olio per alimen-

tare il cilindro I nel quale scorre un pistone misuratore che riduce lo sforzo esercitato dalla macchina e lo trasmette al dinamometro a pendolo L; questo aziona con la leva M l'asta N che da un lato fa muovere, con sistema di cremagliera e pignone, la lancetta sul quadrante O di lettura del carico, e dall'altro fa spostare una punta scrivente lungo le generatrici del tamburo P, proporzionalmente agli incrementi del carico di

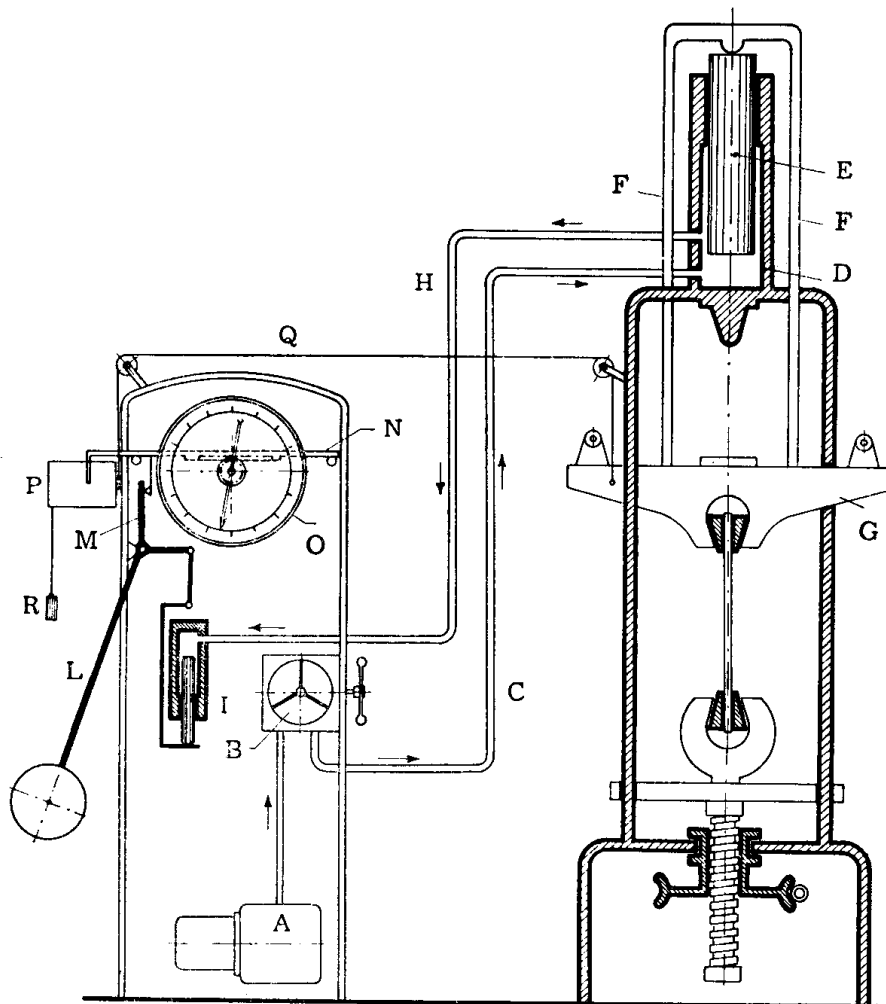


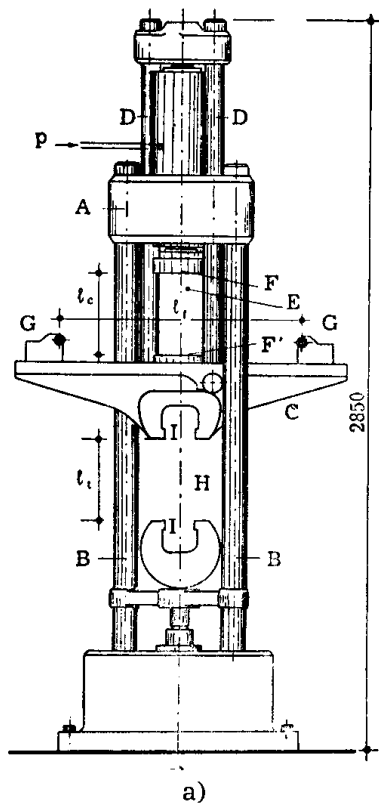
FIG. 11-37

prova. Un filo Q, collegato alla traversa G, è avvolto sul tamburo e lo fa ruotare intorno al proprio asse di angoli proporzionali agli spostamenti della traversa stessa; è possibile così tracciare il diagramma forze-spostamenti relativo alla prova che si esegue. Il bilanciamento del tamburo ed il suo ritorno a zero si ottengono tramite il peso antagonista R.

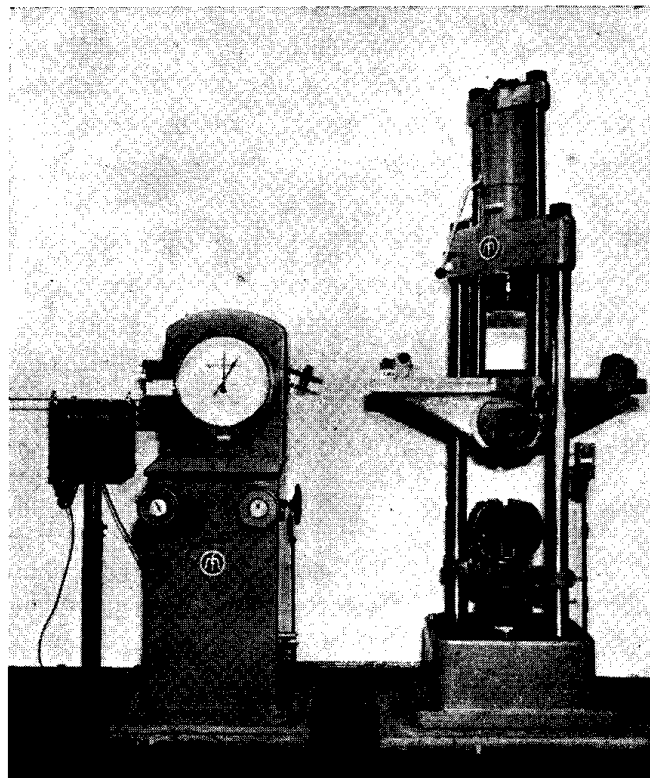
Dalla fig. 11-38 si rilevano le caratteristiche di una macchina universale *Mohr e Federhaff* per carichi fino a 40 t.; la macchina è ad asse verti-

cale, con martinetto montato superiormente, come in tutti i tipi del genere se si esclude il caso di alcuni dispositivi universali, di dimensioni e potenza notevoli, che lavorano in posizione orizzontale. Il carico di prova è sviluppato da un pistone sdoppiato in due elementi coassiali, il che consente di mantenere una elevata sensibilità della macchina anche nel campo dei piccoli carichi. Le prove che utilizzano sforzi compresi nell'intervallo 0-2 t e 0-4 t vengono infatti eseguite tenendo fisso il pistone esterno e mettendo in movimento quello interno; tre ulteriori scale di sensibilità, fino a 8, 20 e 40 t rispettivamente, si ottengono liberando anche il pistone esterno. I cinque campi di carico utilizzano ciascuno una diversa massa pendolare applicata al dinamometro.

La traversa fissa A è sorretta da due sole colonne B, disposte diagonalmente rispetto alla traversa mobile C che scorre tra di esse (fig. 11-38 a);



a)



b)

FIG. 11-38

nello stesso modo sono disposte le colonne di trasmissione D, il che rende più ampi e più accessibili gli spazi della macchina nei quali vanno disposti i corpi da provare, e facilita la sistemazione degli apparecchi di misura sui provini e la relativa lettura. Nello spazio superiore E si esegue la prova di compressione, disponendo il provino tra le piastre F ed F', delle quali la prima è snodata; per la prova di flessione il provino è ap-

poggiato sui rulli G, spostabili lungo la traversa in funzione delle dimensioni del corpo da sollecitare, ed è caricato con un coltello che prende il posto della piastra F. Le provette da sottoporre a trazione si alloggianno nello spazio inferiore H, utilizzando le ganasce I, la forma delle quali consente la sistemazione dei morsetti per stringere le estremità delle provette di vario tipo, descritte nel paragrafo precedente. Si rileva che la macchina può essere geometricamente caratterizzata con i valori massimi delle distanze l_c , l_f , l_t relative agli spazi di prova; esse definiscono le possibilità del dispositivo nei riguardi delle dimensioni dei corpi da sottoporre alle prove fondamentali di compressione, flessione, trazione, rispettivamente. Per la macchina di fig. 11-38, si ha: $l_c = 30$ cm; $l_f = 100$ cm; $l_t = 60$ cm.

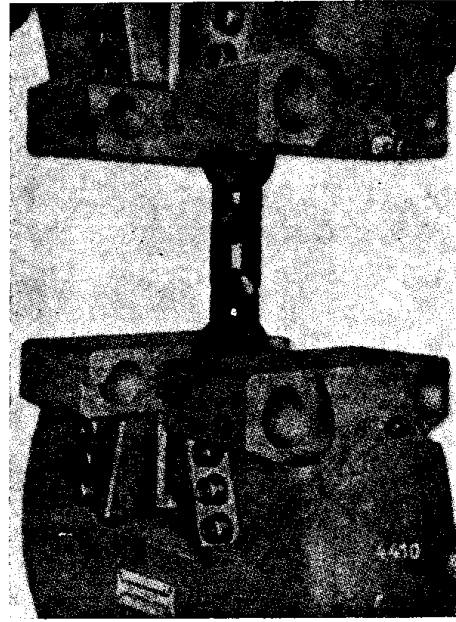
Il banco di manovra della macchina (fig. 11-38 b) comprende la leva di comando rapido che mette in moto la pompa e ne regola la portata, e le manopole del sistema di regolazione fine e di quello di tenuta del carico ad un valore costante. Il primo dispositivo consente, a mezzo di una valvola di comando a regolazione micrometrica e di un regolatore di pressione, di definire con precisione la velocità di messa in carico del provino e di mantenerla costante per tutta la durata della prova, indipendentemente dalla deformazione del provino e dalla reazione della macchina. Il dispositivo per realizzare un carico costante si utilizza quando occorre eseguire sulla provetta delle misure ad un carico mantenuto con precisione al prefissato valore, e così pure se si vuol fare una prova di durata sotto carico fisso; lo stesso dispositivo consente una sicura protezione contro i sovraccarichi che occorre talvolta escludere rigorosamente, ad esempio quando si tratta di applicare sforzi a strumenti di controllo che ne potrebbero essere danneggiati.

Nelle macchine *Losenhausen*, la tenuta del carico ad un valore costante è ottenuta a mezzo del pistone di misura che è provvisto all'interno di una cavità con foro di uscita laterale; questo consente la sfuggita dell'olio sotto pressione, appena che il pistone fuoriesce dal cilindro tanto da scoprire il foro stesso. Poiché è possibile spostare il cilindro di misura secondo il suo asse longitudinale, si può ottenere che la fuga dell'olio avvenga per una qualsiasi posizione del dinamometro; ciò costituisce una protezione contro i sovraccarichi, qualunque sia il campo di sensibilità per il quale la macchina è predisposta. Se contemporaneamente si regola la portata della pompa in modo da compensare la perdita d'olio al pistone misuratore, il carico prefissato è mantenuto automaticamente costante, anche per lunghi intervalli di tempo.

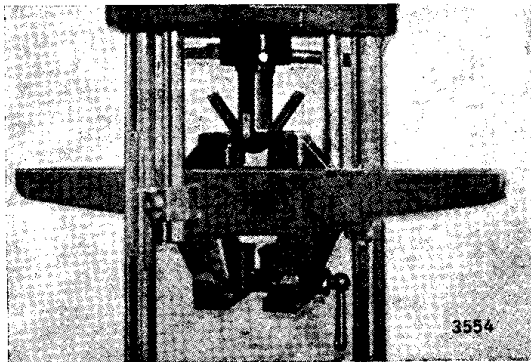
Dalla fig. 11-39 si rilevano le modalità di alcune prove speciali che possono eseguirsi con una macchina universale; i dispositivi illustrati sono quelli delle macchine tipo *Losenhausen*. La fig. 11-39 a si riferisce alla prova di trazione su cavi metallici o di fibra vegetale, eseguita con am-



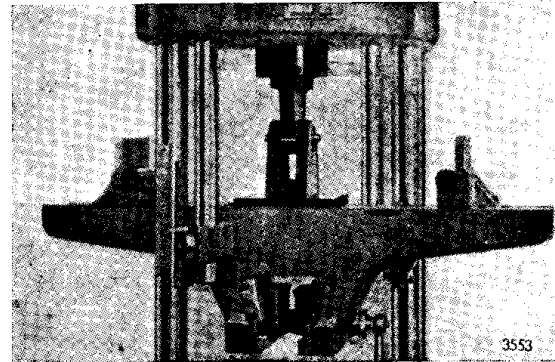
a)



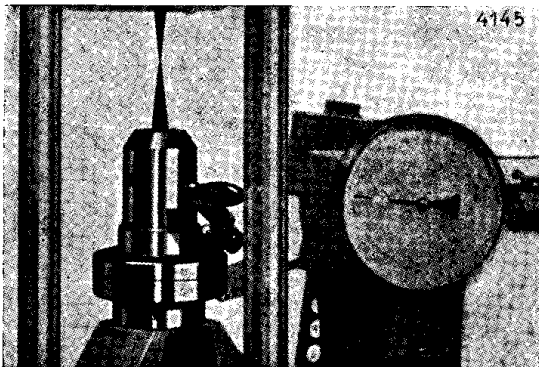
b)



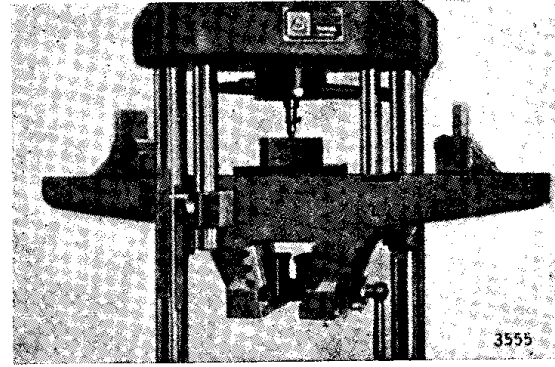
c)



d)



e)



f)

FIG. 11-39

marraggio a mezzo di avvolgimento su tamburi; la fig. 11-39 b riporta l'ancoraggio per la prova su di un segmento di catena. Le prove di flessione su barrette (*piegamento*) hanno luogo secondo i particolari illustrati in fig. 11-39 c; con i dispositivi di fig. 11-39 d, e, la macchina universale consente di eseguire la prova di rottura sotto sforzo di taglio (*cesoiamento o recisione*) e rispettivamente quella di rottura sotto sforzi combinati di trazione e torsione. Prove speciali, come quella di durezza per penetrazione di una piccola biglia di acciaio (*durezza Brinell*), che di solito vengono eseguite con appositi apparecchi, possono anche effettuarsi con una macchina universale (fig. 11-39 f).

Tra quelle illustrate in fig. 11-39, la prova di piegamento è particolarmente significativa nei riguardi della capacità del materiale a sopportare grandi deformazioni senza rompersi o dare segni di incipiente rottura. La prova di piegamento per materiali metallici (UNI 564 del 1960) consiste nel sottoporre la provetta ad una deformazione plastica, mediante flessione, che deve essere continua e senza inversione dello sforzo durante tutta la prova; al termine di questa, il campione viene esaminato sulla faccia esterna della parte piegata, per rilevare l'eventuale presenza di screpolature o fenditure. Il piegamento si esegue su barrette a sezione piena, di regola rettangolare, ma che può anche essere circolare o poligonale; talvolta la prova è richiesta anche per lamiere sottili, fili, tubi.

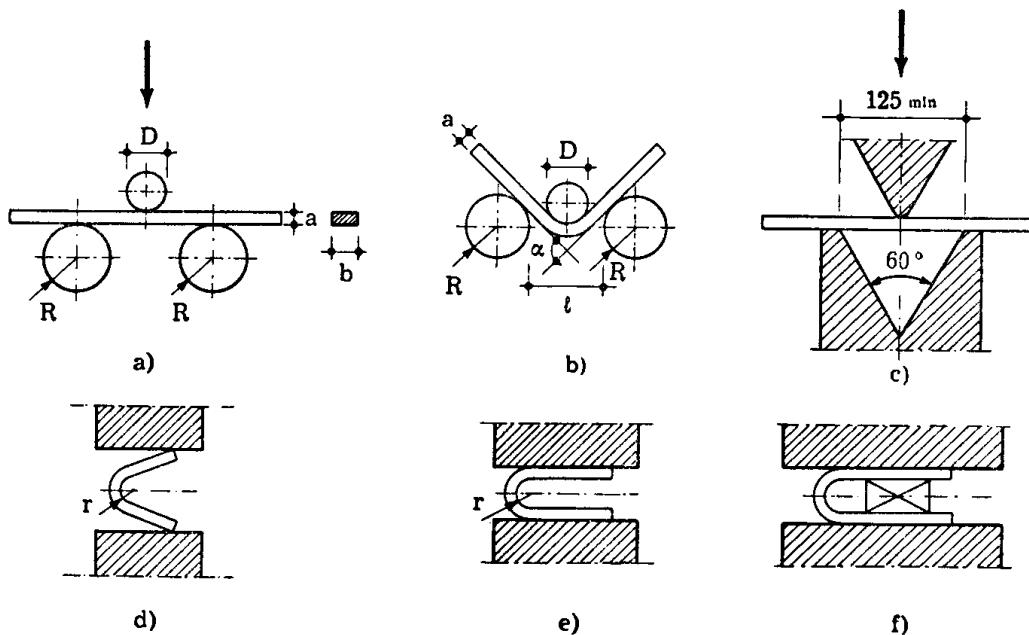


FIG. 11-40

La provetta viene disposta su due appoggi a rullo, e sollecitata al centro con un mandrino fino a che i due lembi della provetta vengono a formare, sotto carico, un prefissato angolo α (fig. 11-40 a, b); la distanza tra gli appoggi si fa di regola pari a $D + 3a$, il diametro D del mandrino ed il raggio R dei rulli vengono fissati dalle prescrizioni relative al tipo di materiale. Il piegamento della barretta può essere

eseguito su matrice con intaglio a V, mediante apposito punzone a vertice arrotondato (fig. 11-40 c). Se l'angolo α prescritto è maggiore di quello che si può ottenere con il piegamento sugli appoggi, o se la prova consiste nel portare fino al parallelismo i due lembi della barretta (piegamento a 180°), il piegamento viene completato con la pressa, agendo direttamente sugli estremi dei due lembi del provino (fig. 11-40 d, e). Nel caso di piegamento a 180° , i due lembi possono, dipendentemente dalla prescrizione, giungere a disporsi l'uno contro l'altro, oppure restare paralleli ad una distanza determinata; si può fare uso di un mandrino per mantenere lo scartamento pari alla distanza fissata (fig. 11-40 f).

La fig 11-41 dà l'esempio di una grande macchina universale ad asse orizzontale, capace di sforzi fino a 700 t, adoperata per prove su grandi modelli o parti di strutture (*Mohr e Federhaff*). Lo spazio di prova può raggiungere la lunghezza di m 27,50 per le prove di trazione, e di m 12 per quelle di compressione; lo spazio stesso viene proporzionato alle dimensioni del provino, spostando una delle traverse della macchina lungo le aste longitudinali che recano dei fori per fissare la traversa nella posizione voluta. Il telaio della macchina è inclinato di 45° sul piano orizzon-

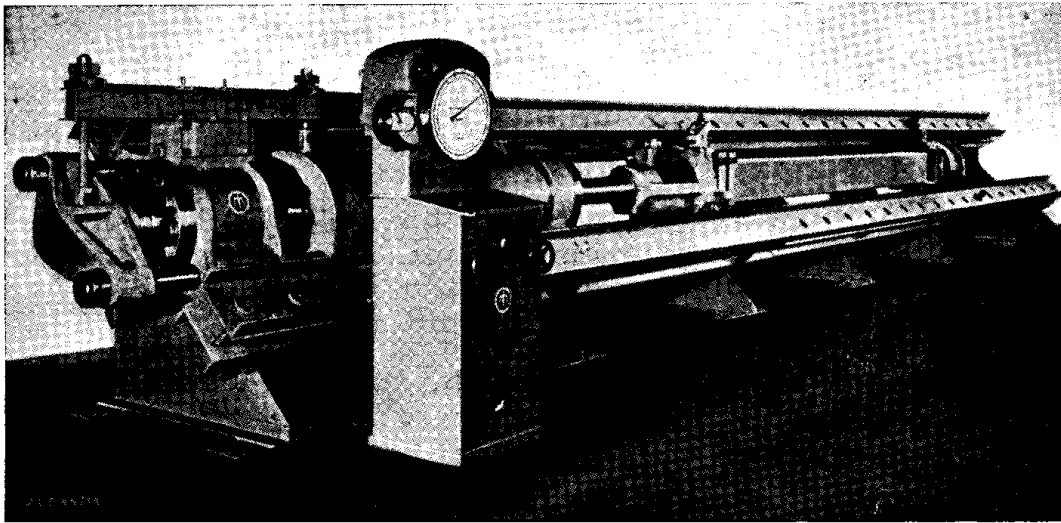


FIG. 11-41

tale; ciò facilita l'introduzione dell'alto dei grossi pezzi da provare, ed offre allo sperimentatore ampia libertà di osservazione e di accesso. Nel bilanciere di testata sono incorporate delle piastre di misura in collegamento con un dinamometro a pendolo; ad esse viene trasmesso lo sforzo di trazione dal cilindro oscillante del martinetto. Nella macchina può essere inserito un tavolo per l'esecuzione delle prove di flessione e di piegamento; altra sua caratteristica è costituita dall'impiego di piastre di pressione rovesciabili che consentono prove a carico di punta fino alla massima portata della macchina.

Se si esclude il caso di macchine eccezionali, come quella di fig. 11-41, le possibilità di impiego di una macchina universale non sono illimitate nei riguardi delle dimensioni dei corpi da provare e dell'entità dei carichi da applicare; non è inoltre possibile realizzare, soltanto con la macchina universale, le speciali modalità che numerose prove richiedono, nè infine il suo uso risulta vantaggioso se fa parte della normale attività di laboratorio l'esecuzione di prove identiche, in serie di notevole entità. In questi casi, si ricorre all'impiego di macchine speciali, alcune delle quali sono illustrate nei seguenti paragrafi.

6. Macchine di trazione, presse, macchine di flessione.

Macchine di trazione. — Numerose macchine, che eseguono soltanto prove di trazione, sono impiegate nel vasto campo delle prove in serie su elementi di piccole e medie dimensioni; il controllo di alcuni prodotti di lavorazione si esegue ad esempio adottando dispositivi che raggiungono automaticamente il prefissato carico di collaudo, sicchè l'operatore ha soltanto il compito di fissare il pezzo alla macchina. Le macchine per prove di trazione su fili sono spesso fornite di un sistema per prova rapida e cioè capace di fornire, a mezzo di pompe speciali, una notevole velocità di crescita del carico; l'esattezza della misura è garantita dall'impiego di dinamometri a molla, capaci di risposta istantanea e dotati di precisione notevole e indipendente dalla velocità di carico, grazie alla piccola massa degli organi di misura. Queste macchine sono generalmente ad asse verticale e sono costruite secondo schemi simili a quello di una macchina universale.

Sono invece ad asse orizzontale le grandi macchine di trazione adoperate per le prove su funi, catene, ancore, che richiedono notevoli carichi di rottura o di collaudo, ed ampi spazi di prova. Dalla fig. 11-42 a, si rileva il funzionamento di un dispositivo di questo tipo; si tratta di una macchina *Mohr e Federhaff* di tipo non molto recente, caratterizzata dalla mancanza di un telaio chiuso, sicchè i carichi di prova devono essere rinviiati a grossi blocchi di fondazione ai quali si ancorano il grande martinetto A, che esercita lo sforzo, ed il dinamometro a leva B che lo equilibra. Il carrello C ed il blocco oscillante D sono cavi e contengono i dispositivi di serraggio che sono del tipo già illustrato nella fig. 11-31; tra di essi viene fissato il corpo da provare. L'albero di trazione E, sostenuto dal carrello ausiliario F, è costituito da segmenti intercambiabili che permettono di far variare la lunghezza dello spazio di prova dalla dimensione minima di 250 mm a quella massima di 5100 mm; quest'ultima si ottiene disponendo il carrello portamorsetti a contatto con quello ausiliario. La macchina esplica il carico massimo di 100 t e consente allungamenti fino

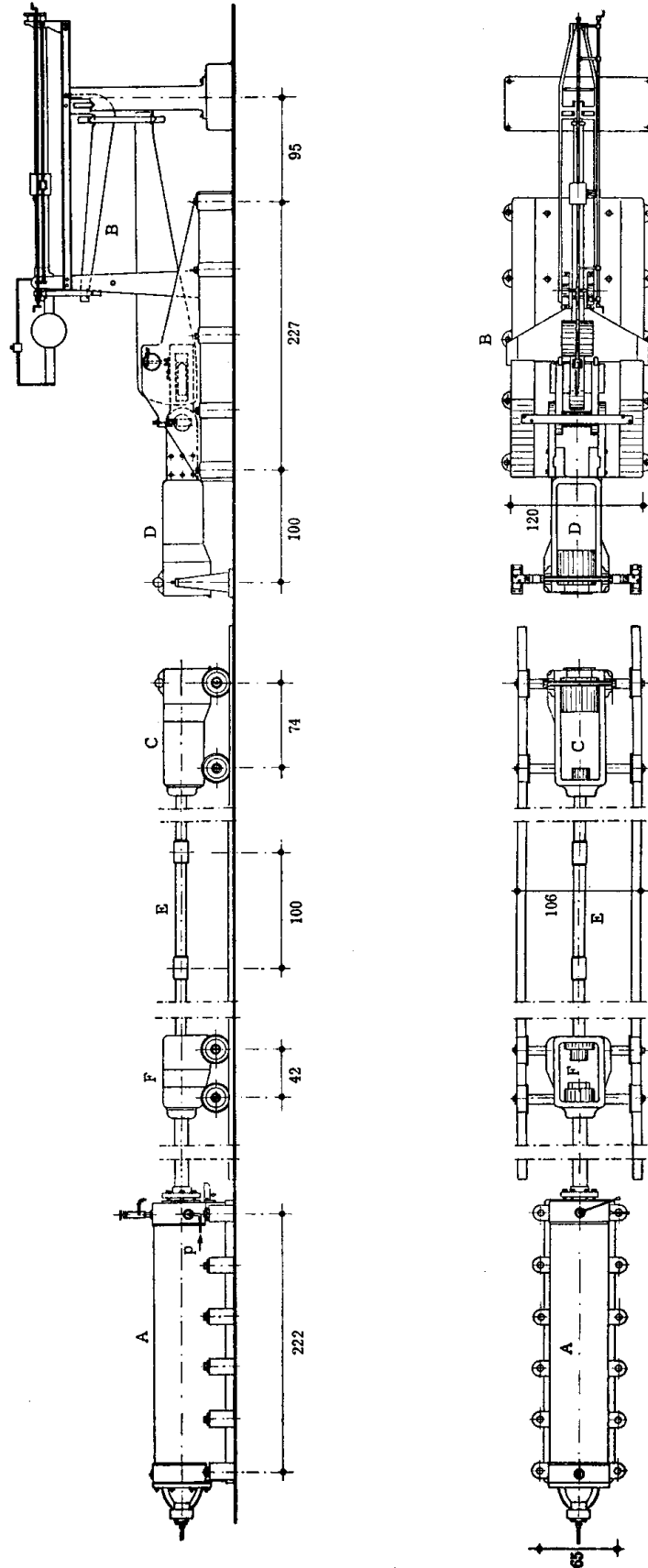


FIG. 11-42 a

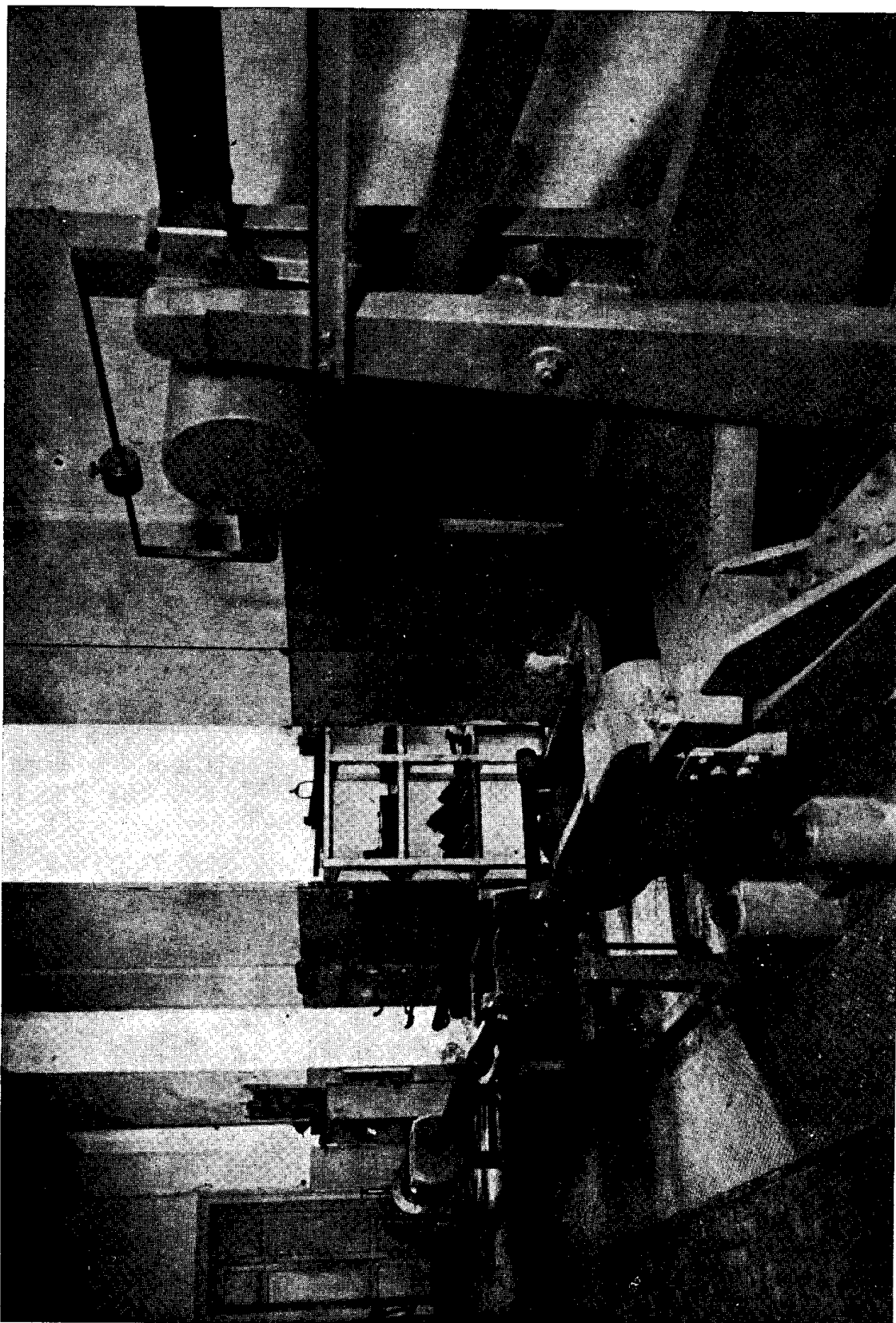


FIG. 11-42 b

a 2000 mm. Il dinamometro è del tipo a leva riportato in fig. 11-15; dalla fig. 11-42 b si rileva l'insieme della macchina.

Una moderna macchina per prove di trazione fino a 500 t è quella riportata in fig. 11-43 (*Mohr e Federhaff*); il banco di prova a telaio chiuso consente di agire su elementi della lunghezza massima di m 27,50. La macchina ha caratteristiche particolari che la rendono atta ad assorbire i contraccolpi prodotti dalla rottura di provini di particolare robustezza, quali

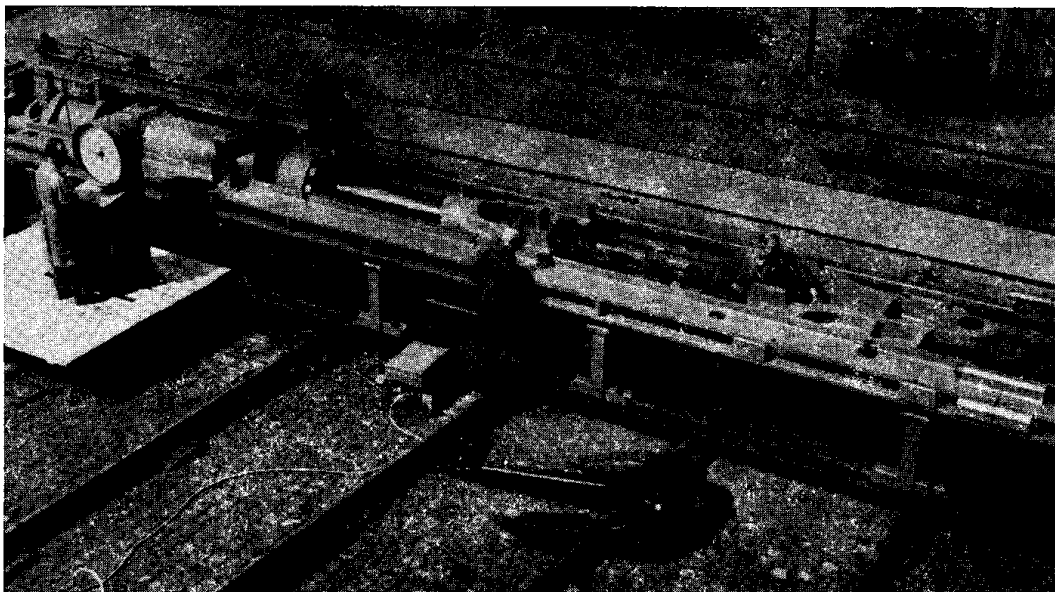


FIG. 11-43

le catene di acciaio temperato; il pistone del martinetto può compiere corse notevoli, fino a 2000 mm ed oltre, il che rende possibile sottoporre a prova catene e funi molto lunghe, senza bisogno di dispositivi per il recupero dell'allungamento. La misura del carico di prova avviene a mezzo di un dinamometro a pendolo.

Particolari macchine di trazione si adoperano per l'esecuzione della prova su malte di cemento, che comporta l'uso di provette piatte a doppia testa del tipo già illustrato in fig. 11-32. La macchina adoperata per questa prova è riportata in fig. 11-44 (*apparecchio di Michaelis*). La provetta viene alloggiata nelle ganasce A, A' delle quali la prima trasmette lo sforzo, e l'altra è solidale al basamento della macchina tramite una vite ad asse verticale, che, azionata dal volantino B, consente di eliminare il gioco tra provetta e ganasce.

Lo sforzo di trazione, gradualmente crescente, si ottiene per caduta di granuli sferici di piombo dal contenitore C nel recipiente D, e viene trasmesso alla provetta attraverso le due leve con fulcro in E, F, rispetti-

vamente, accoppiate con la staffa G. In posizione di riposo, l'apparecchio è equilibrato dal peso H spostabile lungo l'asse che lo sostiene.

Ammorsata la provetta in A ed A', si sposta a mano, verso l'alto,

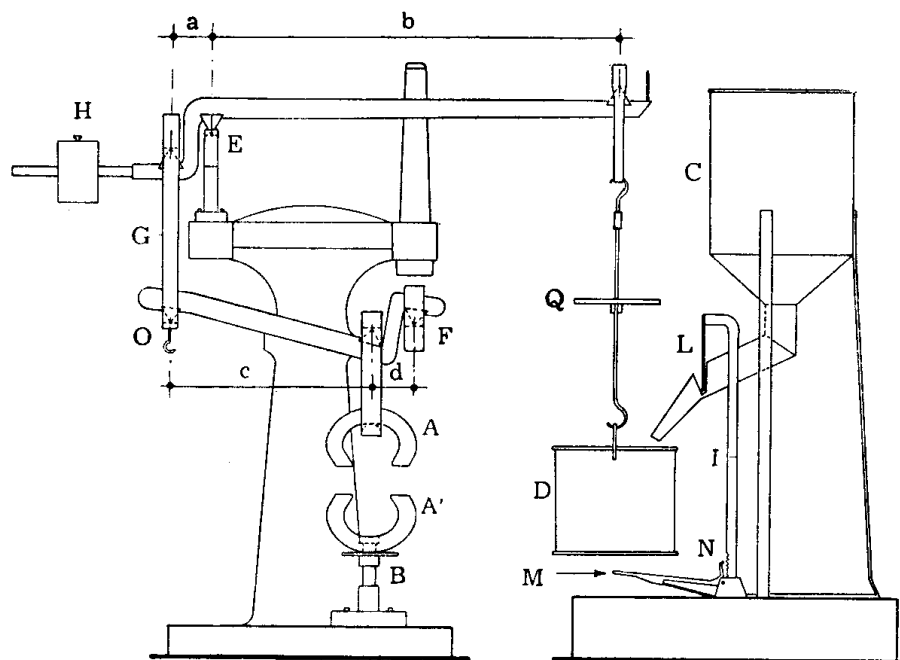
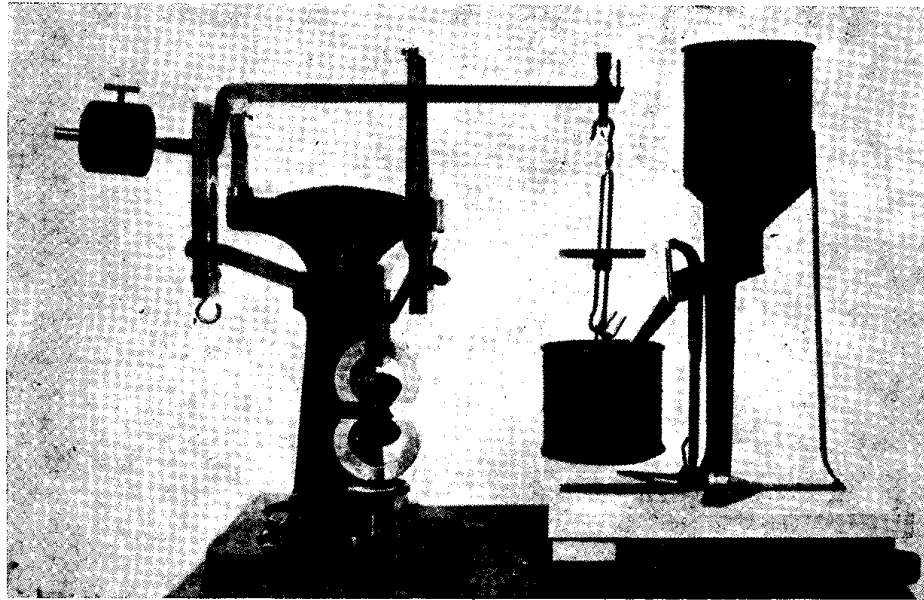


FIG. 11-44

l'asta I, determinando l'apertura della saracinesca L ed il passaggio della graniglia di piombo dal contenitore nel recipiente; l'asta I è fornita di cremagliera nella parte inferiore, e resta bloccata nella posizione di apertura

dal fermo N. L'afflusso continua fino a raggiungere un carico sufficiente a produrre la rottura del provino e la conseguente caduta del recipiente sulla leva M; questa disimpegna il fermo N e determina la chiusura della saracinesca, interrompendo istantaneamente la caduta dei granuli di piombo.

La determinazione del carico di rottura si ottiene per pesata del recipiente contenente la graniglia, utilizzando come bilancia la leva superiore: il recipiente viene agganciato in O ed equilibrato con pesi disposti nel piatto Q. Il carico di rottura si ricava moltiplicando la pesata P per il coefficiente (fig. 11-44)

$$k = \frac{b}{a} \times \frac{c + d}{d} ,$$

e vale 50 per la macchina di fig. 11-44; poichè la sezione ristretta del provino di malta ha un'area di 50 cm², secondo le Norme Italiane, la tensione di rottura è fornita da

$$\sigma_{rt} = \frac{50 \times P}{5} = 10 P \text{ kg/cm}^2 ,$$

essendo P il risultato in chilogrammi della pesata che si effettua a completamento della prova.

La macchina *Michaelis* è tuttora impiegata nella versione ora descritta, od in quella più moderna nella quale lo sforzo gradualmente crescente è ottenuto facendo muovere un peso lungo un braccio di leva, a mezzo di un motore elettrico. Di questo tipo è la macchina delle *Officine Galileo* (fig. 11-45) nella quale però l'avanzamento del peso è ottenuto con dispositivo a molla: una colonna su base triangolare sostiene la scatola contenente il fulcro della leva, una molla ed un movimento ad orologeria; alla leva si collega una delle ganasce che fissano il provino. Facendo scorrere a mano il peso verso la scatola, si carica la molla che successivamente, durante la prova, spinge il peso stesso lungo il braccio della leva, facendolo allontanare dal fulcro con velocità regolata dal movimento ad orologeria. La leva trasmette così al provino uno sforzo via via crescente fino ad ottenerne la rottura; quando ciò avviene, la macchina si ferma ed il valore del carico viene letto in kg/cm² sulla graduazione incisa sul braccio della leva, in corrispondenza di un indice riportato sul peso mobile.

Di concezione completamente diversa è l'apparecchio ideato da R. M. Berthier (*); in esso si utilizza la forza centrifuga per ottenere il carico

(*) R. M. BERTHIER: « Étude, et contrôle des caractéristiques pratiques des ciments et bétons », Rev. Mat. Construction, 1950.

di prova, il che elimina ogni dispositivo di fissaggio del provino di malta. Questo è di forma prismatica e viene accuratamente disposto lungo il diametro di un piatto che poi si fa ruotare, a velocità gradualmente crescente, a mezzo di un motore elettrico; poichè il provino è situato in modo che il suo centro coincida con quello del piatto, la forza centrifuga determina, nelle due metà situate da parte opposta rispetto al centro, tensioni di tra-

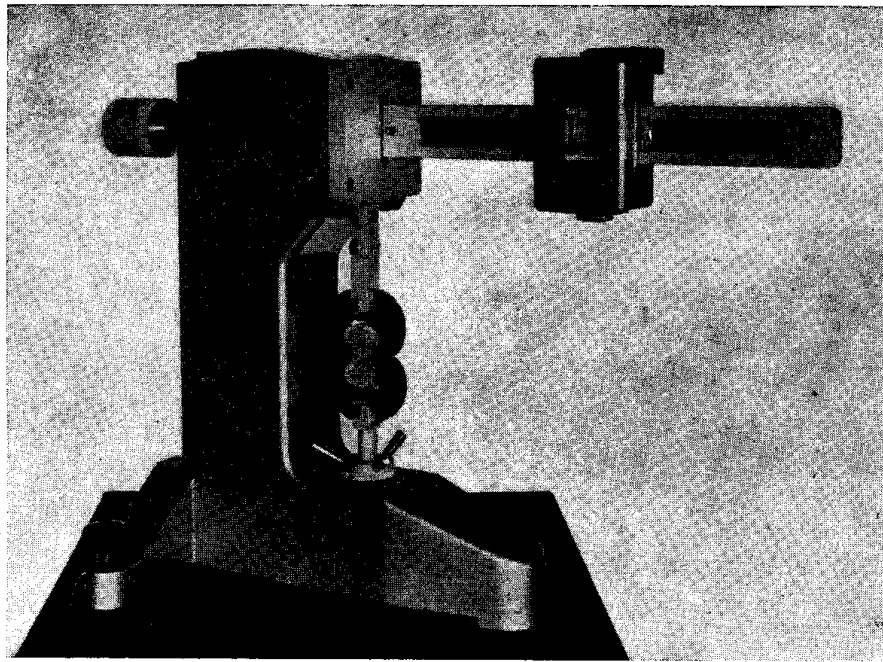


FIG. 11-45

zione che sono massime in corrispondenza di quest'ultimo. Per un certo valore della velocità si ha la rottura in questa sezione od in prossimità di essa, e le due metà, urtando contro un contatto, interrompono il circuito e fermano il piatto. La lettura della velocità ad un contagiri e la pesata delle due parti del provino consentono di calcolare la tensione di rottura.

Presse e macchine di flessione. — Le presse sono macchine impiegate per le prove di compressione, in particolare per quelle su pietre naturali od artificiali (conglomerato, malta, laterizio) e cioè su materiali nei quali la rottura è preceduta da piccole deformazioni; questo campo di prove presenta difficoltà molto maggiori di quello relativo a materiali con grandi deformazioni di rottura, sicchè è dato spesso di rilevare notevoli scarti nei risultati di una stessa prova eseguita con macchine diverse, ugualmente precise. La dispersione dei risultati solo in parte è dovuta alle condizioni di prova, quali l'umidità e la temperatura del provino, lo stato della sua superficie o la velocità di carico; per la rimanente parte, gli scarti

si spiegano chiamando in causa fattori che dipendono dal progetto e dalla costruzione della pressa, ed in particolare dallo stato della superficie delle piastre che comprimono il corpo, dalle modalità del loro collegamento alla macchina, dall'elasticità della macchina stessa e dalla centratura degli organi di carico (*).

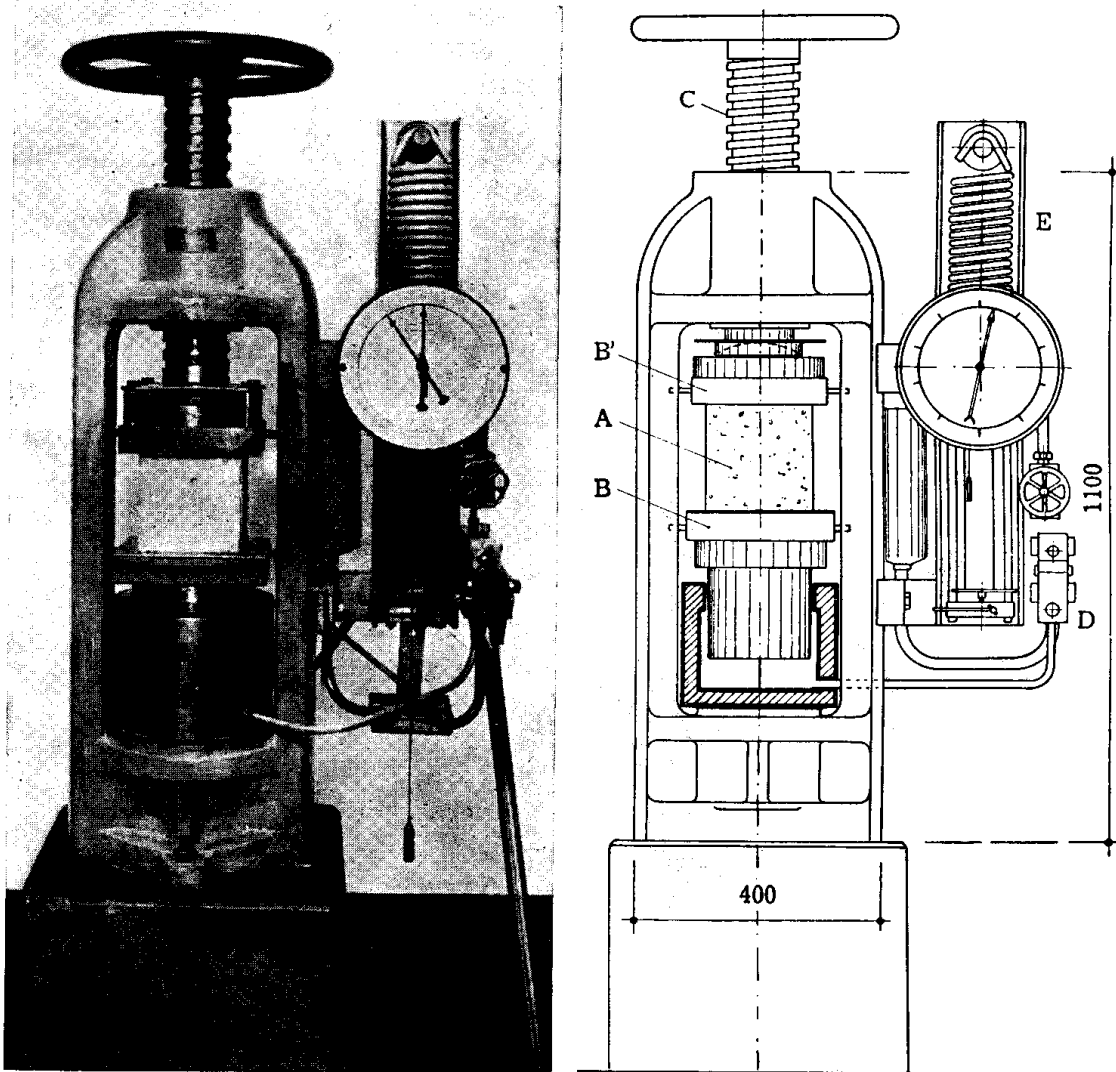


FIG. 11-46

Le presse sono generalmente ad asse verticale e utilizzano robusti telai costituiti da traverse unite con due o quattro colonne, o da quadri ottenuti per getto di fusione in un solo pezzo. In fig. 11-46 è riportata una macchina

(*) All'Association Francaise de Normalisation (AFNOR) è dovuto un progetto di norme che indica le caratteristiche di costruzione che devono contrassegnare una pressa destinata a prove su materiali duri, con prescrizioni dettagliate per ciascuno degli organi costituenti la macchina; le norme precisano anche le prove adatte a verificare dette caratteristiche, gli apparecchi e le modalità di taratura della pressa, i metodi di impiego e di controllo che consentono di ridurre la dispersione dei risultati.

Amsler da 100 t per prove di compressione su campioni di conglomerato e di malta di cemento: il provino A viene sistemato tra la piastra fissa B, con la quale termina il pistone del martinetto, e la piastra snodata B'; questa può essere spostata con la vite calante C lungo l'asse della macchina, fino a venire a contatto con la superficie del provino. Il martinetto è alimentato con la pompa D azionata a mano a mezzo di una leva; il carico di prova è rilevato con un dinamometro a molla E del tipo già descritto nel § 11-3 (fig. 11-11).

Dalla fig. 11-47 si rileva la disposizione di un gruppo di presse *Mohr* e *Federhaff*, costituito da una macchina per prove fino a 50 t e da un'altra

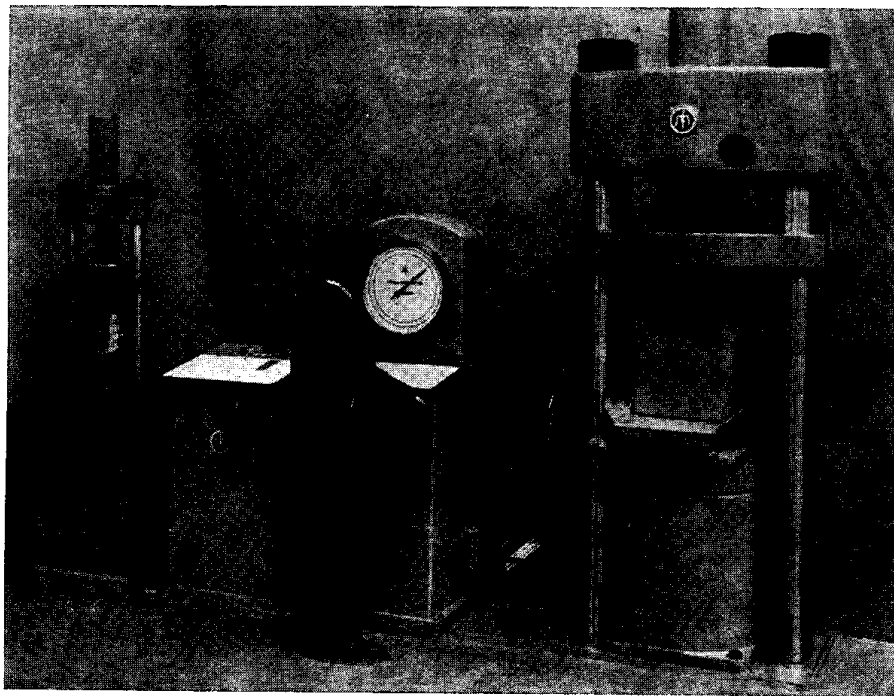


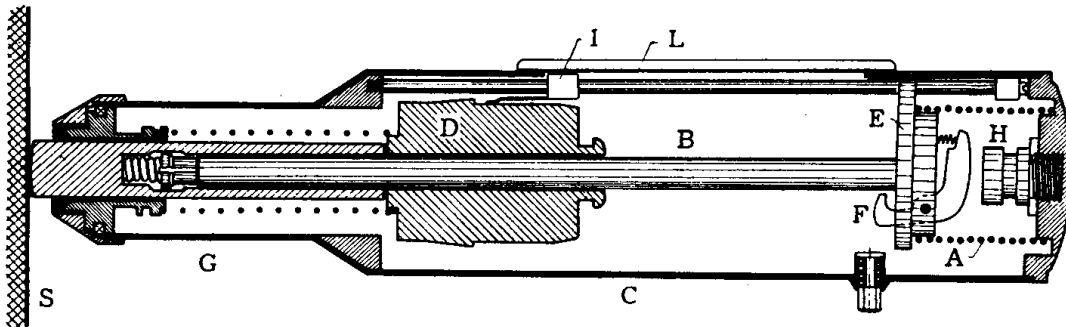
FIG. 11-47

che raggiunge il carico massimo di 500 t. I due dispositivi sono collegati ad un banco di comando unico, che comprende il sistema pendolare di misura.

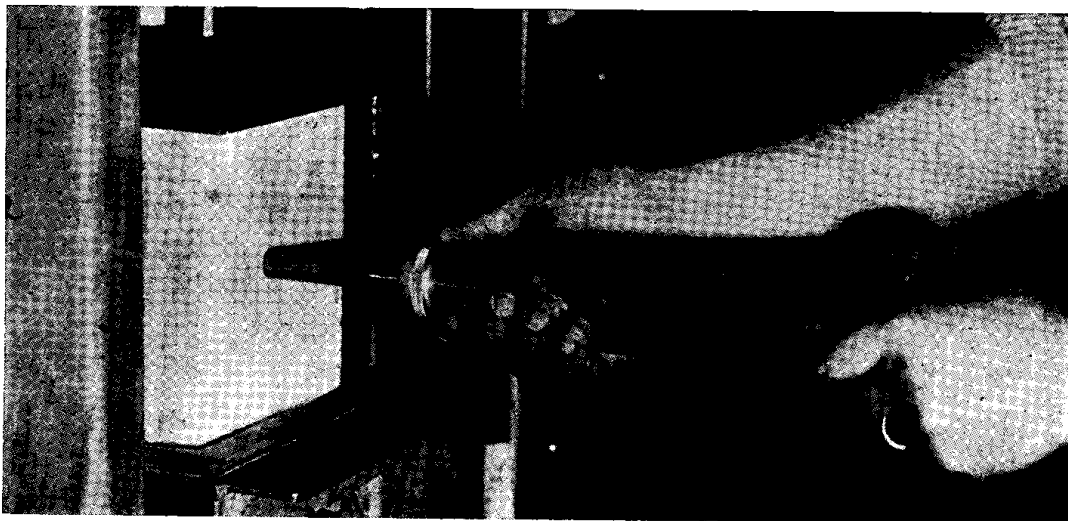
Alcuni apparecchi portatili consentono di determinare con buona approssimazione la resistenza a rottura per compressione di un conglomerato, attraverso prove indirette non distruttive. Questi dispositivi eseguono generalmente una prova d'urto sulla superficie dei getti, misurando la *durezza d'urto* che dipende dalla resistenza a compressione della malta e quindi del conglomerato. Apparecchi di questo tipo rendono possibile l'indagine sulla qualità del calcestruzzo di strutture già eseguite, senza limitazione del numero delle prove che possono peraltro estendersi anche a punti poco accessibili, attese le modeste dimensioni dell'apparecchio; la validità dei risultati che quest'ultimo fornisce può essere notevolmente accresciuta

se la curva di taratura, che converte i valori della durezza d'urto in quelli della resistenza probabile, è costantemente controllata in Laboratorio con prove eseguite su provini che vengono successivamente portati a rottura per compressione.

Il funzionamento di un apparecchio di questo tipo è basato sulla misura dell'energia dissipata nell'urto di una massa metallica (*martello*) contro un'*incudine* che è tenuta a contatto con la superficie da provare; il martello è azionato di solito da un sistema pendolare, se si tratta di prove su materiali di bassa resistenza come le malte tenere ed i conglomerati leggeri, oppure è spinto da una molla di caratteristiche proporzionate alla durezza del materiale ed allo spessore dei getti



a)



b)

FIG. 11-48

che, se molto sottili, possono falsare i risultati della prova, a causa della elasticità della struttura sottoposta all'urto.

Nell'apparecchio di fig. 11-48 (*sclerometro per calcestruzzo Schmidt*) il martello è costituito da una massa scorrevole lungo un'asta e l'incudine è ricavata nella parte terminale di quest'ultima che è realizzata con un diametro maggiore, in modo da costituire un fermo alla corsa del martello (fig. 11-48 a). In posizione di riposo, la molla di pressione A è indeformata e mantiene l'asta B fuori dell'involucro C che racchiude il meccanismo. Il martello D è agganciato al disco E a mezzo di un not-

tolino a leva F; anche la molla di percussione G, che da un lato è vincolata all'involucro e dall'altro al martello, è in posizione indeformata. Per eseguire la prova si dispone l'apparecchio perpendicolarmente alla superficie da provare, con l'estremità dell'asta B a contatto della superficie stessa (fig. 11-48 b). Esercitando una pressione sullo strumento, l'asta rientra nell'involucro e sposta il martello verso la parte posteriore dell'apparecchio; contemporaneamente la molla G viene tesa, e la molla A viene compressa. Quando l'asta ha raggiunto la posizione di fig. 11-48 a, la leva F contrasta con il perno H e disimpegna il martello che, trascinato dalla molla di percussione, scorre lungo l'asta di guida e va a battere contro l'incudine costituito dalla sua parte terminale. Dopo l'urto il martello rimbalza ad una certa distanza e trascina l'indice I lungo la scala L visibile all'esterno dell'apparecchio; la lettura indica il ritorno del martello in percentuale del suo spostamento iniziale prima dell'urto e fornisce il valore della durezza d'urto: questa viene convertita in resistenza probabile media, a mezzo di curve ricavate per confronto con i risultati di numerose prove di rottura alla pressa.

La fig. 11-49 a dà l'esempio di un gruppo di macchine per prove di compressione e flessione su corpi di notevoli dimensioni o su parti di strutture; esso comprende una pressa ed un banco di flessione servito da martinetto indipendente (*Mohr e Federhaff*). Il telaio della macchina (fig. 11-49 b, c) è costituito dalle colonne A e dalla traversa B che può essere spostata lungo di esse e viene fissata, con una coppia di cunei, a quote variabili in funzione dell'altezza del corpo da provare. La traversa porta al centro la piastra snodata C (v. anche figg. 11-25 e 11-26) per le prove di compressione, che si eseguono sistemando il provino tra questa piastra e quella C' priva di snodo e solidale col pistone del martinetto D. La stessa traversa porta a sbalzo un secondo martinetto E, sistemato in corrispondenza della mezzeria di un grande banco di flessione F costituito da due travi a doppio T. Il corpo da provare viene vincolato ai supporti a rullo G spostabili lungo il banco in funzione della luce del provino: il collegamento dei rulli al tavolo di flessione è realizzato con perni H e consente agli appoggi libertà di movimento nel piano ortogonale all'asse del banco, in modo da escludere momenti torcenti parassiti durante l'applicazione del carico. Un argano elettrico I con sistema di funi e pulegge realizza il tiro per lo spostamento della traversa lungo le colonne A; il banco L comprende i comandi della pressa e del martinetto ausiliario, e gli apparecchi per la misura del carico, costituiti da manometri di precisione. La macchina raggiunge il carico di 500 t a compressione, con altezza dello spazio di prova fino a 4 m, e di 50 t sul banco di flessione; su questo possono sistemarsi modelli fino a 10 m di luce.

L'esempio di fig. 11-49 dà il principio di funzionamento generalmente attuato nella costruzione delle macchine di flessione; queste peraltro si presentano sotto aspetti numerosi e diversi: alcune di esse si realizzano disponendo un tavolo di flessione in una pressa od in una macchina di trazione (fig. 11-41), altre utilizzano martinetti indipendenti, di diversa

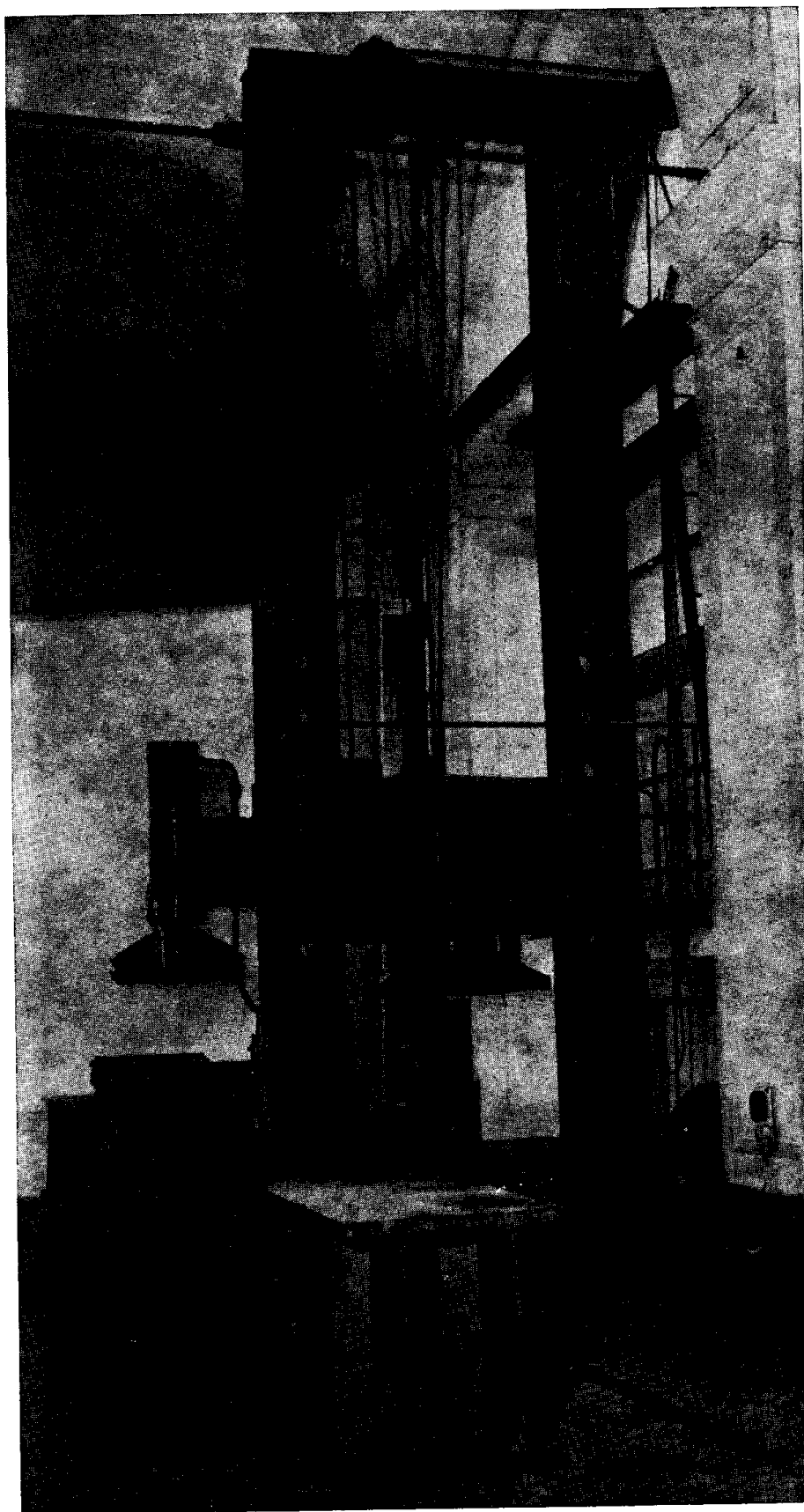


FIG. 11-49 a

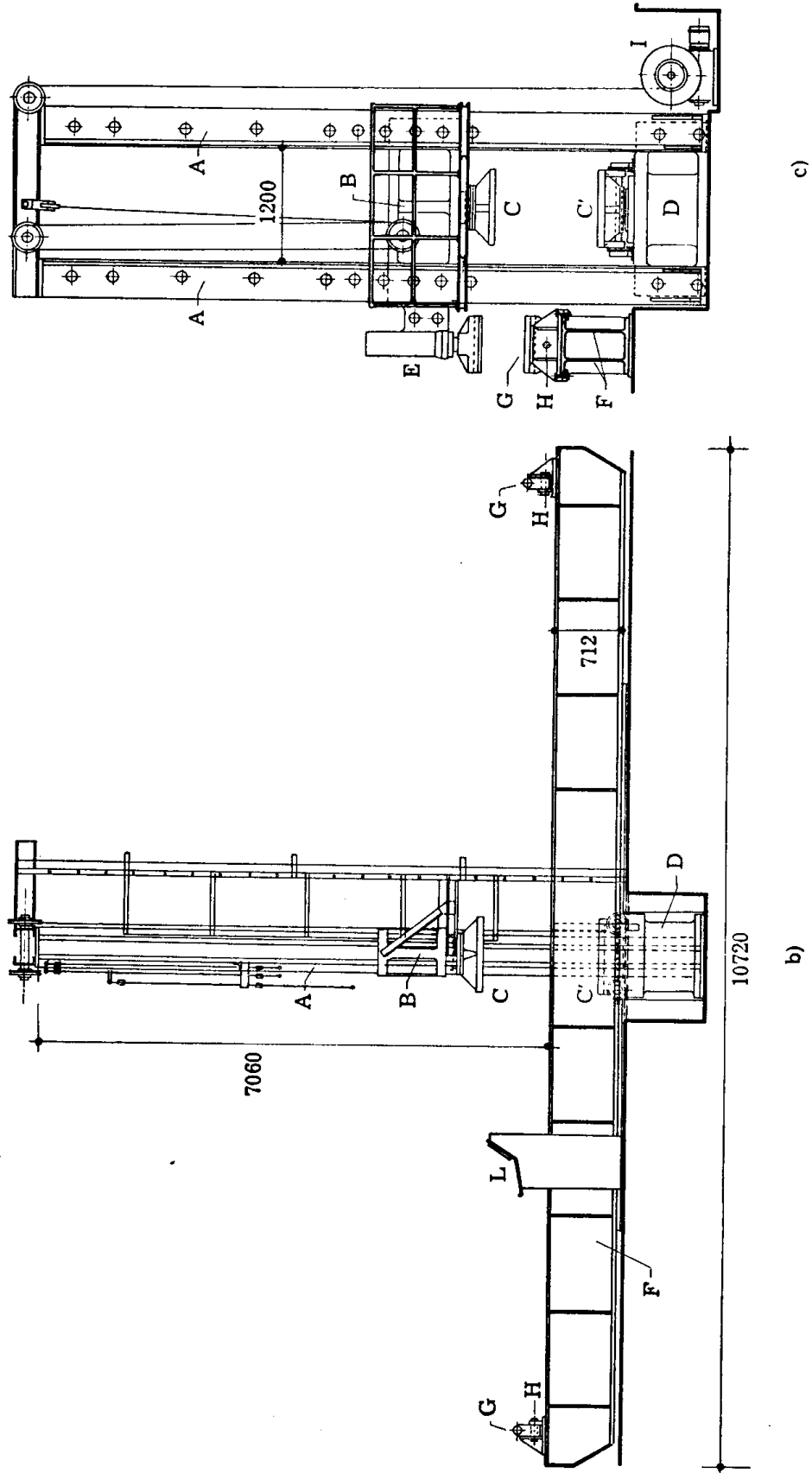


FIG. 11-49 b, c

potenza e intercambiabili, montati su telai chiusi di costruzione molto semplice. La necessità di operare prove di rottura e di collaudo a flessione su pezzi finiti, per il controllo in serie dei prodotti di lavorazione, ha dato luogo a molti tipi di macchine di caratteristiche appositamente studiate per l'esecuzione di un solo tipo di prova; la fig. 11-50 riporta una macchina

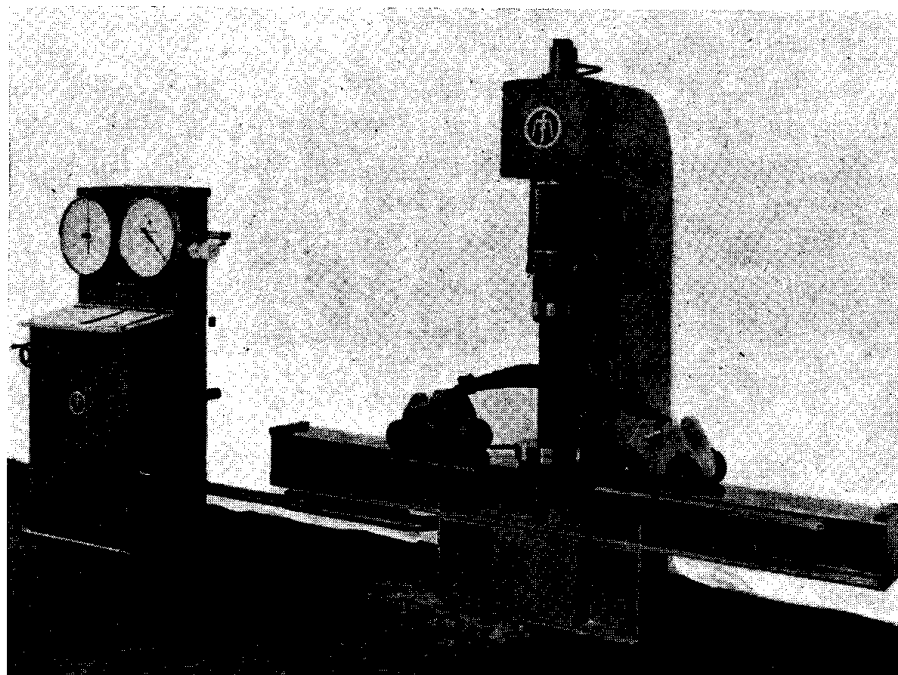


FIG. 11-50

speciale di flessione per prove su molle a balestra fino a carichi di 6 t su luce massima di m 1.50 (*Mohr e Federhaff*).

7. Macchine per prove di viscosità.

Un'importante categoria di prove di trazione e di compressione riguarda lo studio della *viscosità* dei materiali, in particolare degli acciai, a temperatura ambiente od a caldo, e dei conglomerati; le prove in questo caso hanno per scopo la valutazione di una proprietà, rientrante nella meccanica dei fenomeni ereditari o di isteresi, per la quale il materiale continua a deformarsi nel tempo sotto un carico costante oppure, sottoposto ad uno stato di deformazione invariabile nel tempo, subisce delle variazioni dello stato tensionale iniziale. I due fenomeni vengono indicati generalmente col termine di *viscosità a carico costante*, o con terminologia francese *fluage*, e di *viscosità a lunghezza costante* o *rilassamento*; il duplice aspetto della viscosità dà luogo, in campo sperimentale, a modalità