RASSEGNA TECNICA

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

Verifiche sperimentali al metodo teorico per calcolare le pressioni e le forze di laminazione, sviluppato dalle moderne condizioni di plasticità

GIAN FEDERICO MICHELETTI ha sviluppato in una precedente memoria un metodo teorico per calcolare le pressioni e le forze di laminazione, ne considera ora l'applicazione con dati numerici relativi a diversi materiali. Il calcolo delle pressioni p_x *fra cilindro e laminato consente il tracciamento per punti della curva* p_x *in funzione di* x. *L'area sottostante a tale curva è proporzionale alla forza di laminazione il cui valore corrisponde, a meno di errori percentuali molto ristretti (dal 4 al 4,5 %), a quello ottenuto sperimentalmente, per lo stesso materiale e le stesse condizioni di lavoro considerate nel calcolo. Le verifiche sperimentali sono state fatte con un laminatoio dotato di celle dinamometriche ed estensimetri elettrici.*

In una precedente memoria [1] è stato esposto un metodo teorico, per calcolare le pressioni di laminazione ai vari punti dell'arco di contatto cilindro-laminato. Tale metodo è stato studiato, partendo dalla condizione di equilibrio alla traslazione orizzontale di un elemento di volume del materiale in laminazione, adottando il criterio di plastificazione dello Stassi d'Alia. Siffatto criterio tiene conto, per esaminare il fenomeno di deformazione plastica, del carico-limite di elasticità del materiale sia a compressione semplice, sia a trazione semplice, introducendo il rapporto fra i due carichi (ϱ).

L'elaborazione e gli sviluppi che ne derivano consentono di pervenire ad una relazione, per il calcolo della pressione fra cilindro e laminato (p_x) in funzione dei vari parametri che caratterizzano la laminazione.

$$1)\ p_x\ (*) = \left(1 - \frac{\alpha}{2\sqrt{\beta}}\right)\left(1 - \frac{M}{n}x\right)\left[F_1(\sigma_0, \varrho, m, n) + x^2 F_2(\sigma_0, \varrho, m, n) - \right.$$
$$\left. - (mx^2 + n)^{\frac{H}{2m}} P_8(x) + C_1\right] + \alpha\sqrt{\beta} + \gamma\ ;$$

[1] G. F. Micheletti, *Metodo teorico per calcolare le pressioni di laminazione sviluppato dalle moderne condizioni di plasticità*, in « Atti e Rassegna Tecnica », Torino, n. 2, 1964, pagg. 51-60.

(*) Nella formula è stato posto:

$$F_1(\sigma_0, \varrho, m, n) = \frac{KM^2}{4m^2 n}\left(\frac{1}{-\frac{H}{2m} + 1} + \frac{1}{\frac{H}{2m}}\right) - \frac{K + \frac{M}{n}(K - N)}{H}\ ;$$

$$F_2(\sigma, \varrho, m, n) = \frac{KM^2}{4m^2 n}\ \frac{1}{-\frac{H}{2m} + 1}\ ;$$

$$P_8(x) = Nn^{-\frac{H}{2m}-1}x + \frac{Nm}{3}\left(-\frac{H}{2m} - 1\right)n^{-\frac{H}{2m}-2}x^3 + \frac{M^2N}{8}n^{-\frac{H}{2m}-3}x^4 +$$
$$+ \frac{Nm^2}{10}\left(-\frac{H}{2m} - 1\right)\left(-\frac{H}{2m} - 2\right)n^{-\frac{H}{2m}-3}x^5 + \frac{M^2N}{12}m\left(-\frac{H}{2m} - 1\right)\cdot n^{-\frac{H}{2m}-4}x^6 +$$
$$+ \frac{M^2N}{32}m^2\left(-\frac{H}{2m} - 1\right)\left(-\frac{H}{2m} - 2\right)n^{-\frac{H}{2m}-5}x^8\ .$$

inoltre:

$$M = \frac{\mu}{2m}(2m + H)\ ; \qquad N = \frac{\mu}{2m}K$$

$$H = -m\frac{\alpha}{\sqrt{\beta}}\ ; \qquad k = 2m\left[\alpha\sqrt{\beta} - \gamma\right]$$

$$\frac{\alpha}{\sqrt{\beta}} = 4\frac{\varrho - 1}{\sqrt{\left(\varrho - \frac{1}{3}\right)^2 + \frac{8}{9}}}\ ; \qquad \alpha\sqrt{\beta} - \gamma = -\sigma_0\left[\varrho - 1 - \sqrt{\left(\varrho - \frac{1}{3}\right)^2 + \frac{8}{9}}\right]$$

$$m = \frac{h_1 - h_2}{2l^2}\ ; \qquad n = \frac{h_2}{2}$$

La costante di integrazione C_1 vale:

$$C_1 = \frac{p_0 - \left(1 - \frac{\alpha}{2\sqrt{\beta}}\right)\left[-\frac{K + \frac{M}{n}(K - N)}{H} + \frac{KM^2}{4m^2 n}\left(\frac{1}{-\frac{H}{2m} + 1} + \frac{1}{\frac{H}{2m}}\right)\right] - (\alpha\sqrt{\beta} - \gamma)}{1 - \frac{\alpha}{2\sqrt{\beta}}}$$

La determinazione della pressione p_0, corrispondente alla p_x alla sezione di uscita ($x = 0$), si compie con l'ausilio della formula:

$$2) \quad p_x - \sigma_x = \alpha \sqrt{\beta - \sigma_x} - \gamma$$

avuto riguardo al fatto che attualmente risulta $[\sigma_x]_{x=0} = 0$ giacchè in corrispondenza della sezione di uscita termina il fenomeno di laminazione e, conseguentemente, risulta nulla la tensione principale $\sigma_3 = \sigma_x$.

Come già è stato indicato, i valori di α, β, γ che compaiono nella 2) sono dati da:

$$3) \quad \alpha = 2\sqrt{\sigma_0 (\varrho - 1)}$$

$$\beta = \frac{\sigma_0 \left[(\varrho - 1)^2 + \frac{4}{3} \varrho \right]}{4 (\varrho - 1)}$$

$$\gamma = \sigma_0 (\varrho - 1)$$

essendo σ_0 il valore della resistenza alla compressione, misurata con prova di compressione ragguagliata alle condizioni di stato, nelle quali si trova il materiale durante la laminazione in esame.

Ciò premesso, dalla 2) segue:

$$4) \quad [p_x]_{x=0} = p_o =$$

$$= \sigma_0 \left[1 - \varrho + \sqrt{\left(\varrho - \frac{1}{3} \right)^2 + \frac{8}{9}} \right]$$

che si presta agevolmente al calcolo della p_0.

Tracciata per punti la curva p_x, con l'ausilio della 1) e seguenti, è possibile calcolare l'area sottostante alla curva stessa

$$A = \int_0^{-l} p_x \, dx$$

esprimendola in kg/mm. Tale area, moltiplicata per la larghezza (b) del nastro in laminazione, fornisce il valore della forza di laminazione:

$$5) \quad F = b \int_0^{-l} p_x \, dx$$

Applicazioni esemplificative e verifiche sperimetali.

Si considerino ora alcuni risultati ottenuti, a scopo di verifica sperimentale, per laminazione di nastri a freddo.

1) Laminazione di un nastro in alluminio (99,5% Al).

I dati di partenza sono i seguenti: durezza Brinell del materiale: 30 ÷ 36; spessore iniziale del nastro $h_1 = 4$ mm ($\pm$ 0,01); spessore finale del nastro $h_2 = 3$ mm ($\pm$ 0,01); larghezza del nastro $b = 30$ mm; diametro dei cilindri del laminatoio, 63,5 mm; velocità periferica del cilindro $V_c = 8$ mm/sec.

Si sono dapprima eseguite le prove di compressione statica (su cilindretto, formato dalla sovrapposizione di dischetti ricavati dalla lamiera) e di trazione statica (su provette normali), ottenendo i diagrammi (fig. 1) tensioni (σ) deformazioni $\left(\Delta h'_r = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \cdot 100 \right)$.

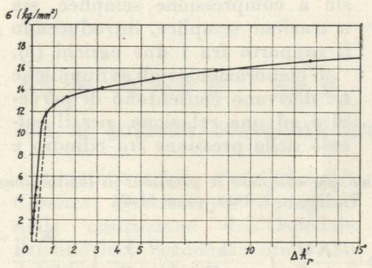


Fig. 1 - Diagramma tensioni-deformazioni per alluminio al 99,5 % a seguito di prova di compressione statica (corretto per tenere conto della velocità di schiacciamento).

TABELLA 1

Metallo	senza lubrificazione	Lubrificazione con petrolio	Lubrificazione con olio
acciaio 1010 . . .	0,20 ... 0,30	0,15 ... 0,17	0,10 ... 0,13
rame	0,20 ... 0,25	0,13 ... 0,15	0,10 ... 0,13
alluminio	0,20 ... 0,30	0,10 ... 0,15	0,08 ... 0,09
ottone	0,12 ... 0,15	0,06	0,05
zinco	0,25 ... 0,30	0,12 ... 0,15	

I risultati delle prove statiche sono stati corretti, in funzione della velocità di compressione, corrispondente alla velocità di laminazione considerata.

La velocità di compressione è stata calcolata, partendo dalla velocità periferica del cilindro ($V_c = 8$ mm/sec), e determinando dapprima la velocità del laminato all'imbocco (V_1) mediante l'equazione:

$$6) \quad b\, h_1\, V_1 = b\, h\, V = b\, h_2\, V_2$$

la quale, per b = cost, allorquando sia noto il punto neutro, presenta due incognite: V_1, V_2. Si può pertanto ricavare, dall'equazione suddetta, il valore di V_1 ($V_1 = 6$ mm/sec) e da questo pervenire alla velocità di compressione V_s, componente verticale della V_1 (che è tangente al cilindro nel punto di contatto di quest'ultimo con il laminato, in corrispondenza alla sezione di imbocco). Il valore, nel caso in esame, è risultato: $V_s = 1$ mm/sec.

Inoltre, si calcola il rapporto

$$= \frac{V_s}{h_1} = 0{,}25 \text{ sec}^{-1}.$$

La correzione dei valori, determinati con la prova di compressione statica, è stata eseguita punto per punto, tenendo conto della formula (2):

$$7) \quad \sigma_{dinamica} = \sigma_{statica} \frac{\dot{\varepsilon}^n_{dinam.}}{\dot{\varepsilon}^n_{statico}}$$

dove si è assunto $\dot{\varepsilon}_{statico} = 0{,}013$ sec^{-1} ed n è un coefficiente, dipendente dal rapporto di riduzione e dalla temperatura (quest'ultima, nel caso in esame, è costante a 18 °C).

Per stabilire il valore del coefficiente di attrito μ, si può fare ricorso alla tabella, elaborata dal Rokotjan (3). Interpretando i dati della tabella 1, si è assunto — nel caso in esame — il valore $\mu = 0{,}1$.

---

(2) J. F. Alder e V. A. Philips, *The effect of strain rate and temperature on the resistance of Aluminium, Copper and Steel to compression*, « Journal of the Metals », 1954-55, vol. 83.

(3) A. I. Zelikow, *Lehrbuch des Walzwerksbaus*, VEB, Berlin, pag. 126.

A questo punto è possibile, mediante la formula 1) e le posizioni seguenti, calcolare la pressione p_x e la forza di laminazione F.

Dal grafico, riportato alla fig. 1, e dalla prova a trazione statica risulta infatti:

— il valore di $\varrho = 1{,}2$ (che può essere, in questo caso, considerato con buona approssimazione costante, nell'intervallo di laminazione);

— i valori di σ_0 (variabili per il materiale in esame, nell'intervallo di laminazione, in funzione di $\Delta h'_r$).

Per la 4), risulta altresì $p_0 = 17$ kg/mm². Noti i valori sopra citati, è stata tracciata la linea corrispondente alla 1), assegnando ad x valori negativi crescenti in valore assoluto; detta linea interseca la retta, parallela all'asse x, di equazione $y = p^*$ in un punto la cui ascissa corrisponde al punto neutro (avente ascissa x_N). Nell'intervallo compreso fra x_N ed $x = -l$ (imbocco), la curva si ottiene sempre dalla 1), tenendo tuttavia conto della inversione nel segno della forza di attrito t, dovuta al fatto che il materiale, entro tale intervallo, detiene velocità inferiore rispetto a quella periferica del cilindro (fig. 2).

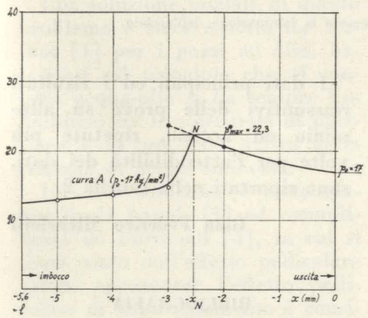


Fig. 2 - Diagramma delle p_x calcolate per la laminazione dell'alluminio.

Dal grafico, riportato alla fig. 2, si ricava il valore dell'area sottostante alla curva p_x,

$$A = \int_0^{-l} p_x \, dx$$

espressa in kg/mm. Tale valore, moltiplicato per la larghezza del nastro, fornisce la forza di laminazione:

$$F = b \cdot A = 2850 \text{ kg}$$

2) Laminazione di un nastro in acciaio.

I dati di partenza sono i seguenti: durezza Brinell del materiale 100; spessore iniziale del nastro $h_1 = 1{,}55$ mm ($\pm$ 0,01); spessore finale del nastro $h_2 = 1{,}25$ mm ($\pm$ 0,01); larghezza del nastro $b = 30$ mm; diametro dei cilindri del laminatoio, 63,5 mm; velocità periferica del cilindro, $V_c = 12{,}5$ mm/sec.

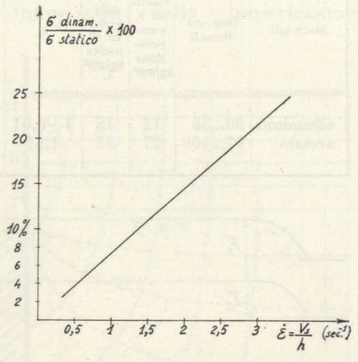


Fig. 3 - Curva per la correzione della statica onde ottenere la σ dinamica.

I risultati della prova di compressione, eseguite in condizioni statiche in modo analogo a quanto esposto per il caso precedente, sono stati corretti successivamente, considerando le velocità di compressione ($V_s = 0{,}97$ mm/sec) ed il valore di $\varepsilon = 0{,}62$ sec^{-1}.

Il grafico, riportato alla fig. 3, (4) fornisce, per un acciaio corrispondente a quello considerato in questo esempio, le correzioni percentuali, da apportare al σ statico. Per $\dot{\varepsilon} = 0{,}62$ sec^{-1}, l'aumento percentuale sul σ statico è del 4,5%.

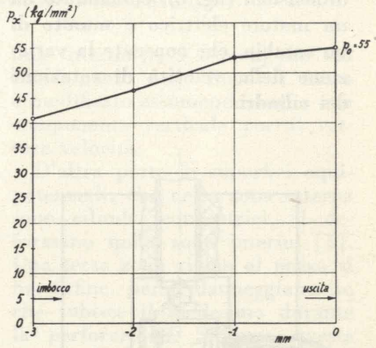


Fig. 5 - Diagramma delle p_x calcolate per la laminazione dell'acciaio.

La curva, relativa all'acciaio, che appare nella fig. 4, tiene conto di tale correzione e può quindi essere utilizzata per ricavare i valori del ϱ, in corrispondenza dei quattro punti considerati nell'intervallo di laminazione ($x = 0$, $x = -1$, $x = -2$, $x = -3$) ed i valori del σ_0.

Anche in questo caso, si è posto il coefficiente di attrito $\mu = 0{,}1$.

Dalla 4) risulta $p_0 = 55$ kg/mm²; tracciata di poi la curva, come al caso precedente (fig. 5), si è misurata l'area A, e da questa calcolata la forza $F = b\, A = 4420$ kg.

Rilievi sperimentali.

A verifica dei risultati, raggiunti per via teorica, è stata predisposta (5) una serie di rilievi speri-

---

(4) D. B. Taylor e L. E. Malvern, *Dynamic stress and deformation in mild steel at normal and low temperatures*, pubblicato su « Reponse of metals to high velocity deformation », ed. P. G. Shewmon e V. F. Zackay.

(5) Nell'Istituto di Tecnologia Meccanica del Politecnico di Torino.

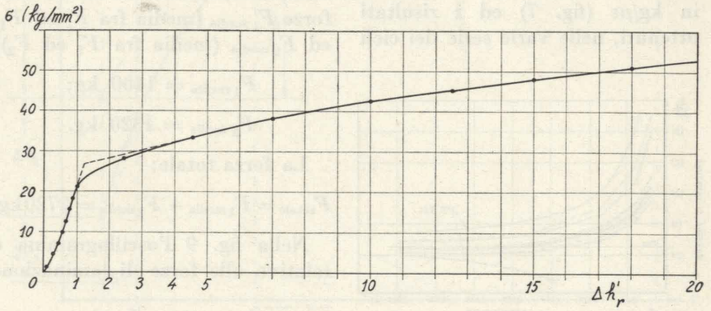


Fig. 4 - Diagramma tensioni-deformazioni per l'acciaio (H = 97 ÷ 100) a seguito di prova di compressione statica (l'andamento è stato corretto in base alla curva di fig. 3 per tenere conto della velocità di schiacciamento).

mentali, su nastri in alluminio e in acciaio, aventi le caratteristiche già sopra menzionate.

L'apparecchiatura adottata consiste in un laminatoio di piccole dimensioni (fig. 6), comandato da un motore elettrico e munito di un cambio, che consente la variazione della velocità di rotazione dei cilindri.

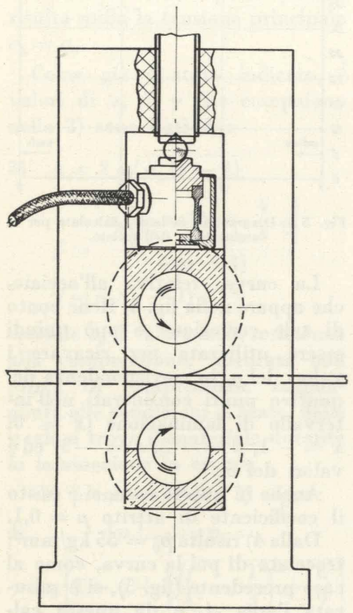


Fig. 6 - Schema del laminatoio usato per le prove e dotato di due celle dinamometriche.

Fra i cuscinetti di appoggio dei cilindri e l'incastellatura della macchina, sono state interposte due celle dinamometriche, tarate con macchina a pesi diretti. I fattori di taratura delle celle sono espressi in kg/$\mu\varepsilon$ (fig. 7) ed i risultati ottenuti, nelle varie serie dei cicli

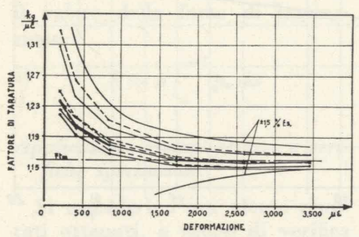


Fig. 7 - Diagramma di taratura di una delle celle dinamometriche.

di taratura, sono compresi entro il $\pm$ 1,5% f.s. (6).

Le celle, collegate attraverso amplificatori ad un registratore, hanno fornito l'andamento delle forze durante le varie laminazioni eseguite, come appare dagli oscillogrammi riportati (figg. 8, 9).

TABELLA 2

Materiali	Durezza Brinell	Limite elastico a compressione kg/mm²	σ_s alla sezione di uscita kg/mm²	h_1	h_2	$\Delta h'_r$	V_c	V_s	b	Lubrificazione	Forza totale (kg)
alluminio	30...36	12	15	4±0,01	3±0,01	25%	8	1	30	olio	2720
acciaio	97...100	27	53	1,55	1,25	19%	10	0,97	30	»	4610

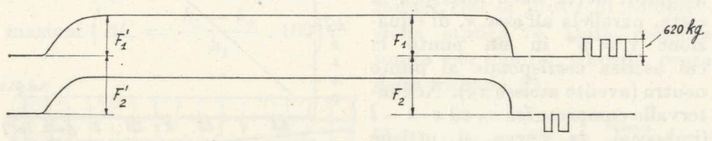


Fig. 8 - Oscillogramma rilevato durante la laminazione dell'alluminio.

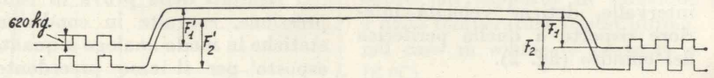


Fig. 9 - Oscillogramma rilevato durante la laminazione dell'acciaio.

Nella fig. 8 l'oscillogramma è relativo alle forze di laminazione applicate ai due cuscinetti superiori del laminatoio e scaricate sulle celle dinamometriche, nel caso della laminazione dell'alluminio. Il segnale di taratura riportato di fianco indica la scala che consente la lettura del valore delle forze $F_{1\ \text{media}}$ (media fra F'_1 ed F_1) ed $F_{2\ \text{media}}$ (media fra F'_2 ed F_2):

$$F_{1\ \text{media}} = 1400 \text{ kg};$$

$$F_{2\ \text{media}} = 1320 \text{ kg}.$$

La forza totale:

$$F_{\text{totale}} = F_{1\ \text{media}} + F_{2\ \text{media}} = 2720 \text{ kg}.$$

Nella fig. 9 l'oscillogramma è relativo alle forze di laminazione applicate, come sopra, nel caso dell'acciaio. Risulta:

$$F_{1\ \text{media}} = 2040 \text{ kg};$$

$$F_{2\ \text{media}} = 2570 \text{ kg};$$

la forza totale:

$$F_{\text{totale}} = 4610 \text{ kg}.$$

I dati principali ed i risultati riassuntivi delle prove su alluminio ed acciaio, ripetute più volte per l'attendibilità dei dati, sono riportati nella tabella 2.

Gian Federico Micheletti

(6) Taratura eseguita nell'Istituto Dinamometrico Italiano (Torino).

BIBLIOGRAFIA

TAYLOR D. B. C., *Proceedings of the Conference on properties of materials at high rates of strain*, Inst. Mech. Engrs., London 1957.

VIGNESS I., KRAFFT J. M. e SMITH R. C., *Proceedings of the Conference on properties of materials at high rates of strain*, Inst. Mech. Engrs., London 1957.

KRAFFT J. M., *Instrumentation for high speed strain measurement Proceedings of the Conference on response of metals to high velocity deformation*, Metallurgical Society of AIME (USA).

Del cono d'acqua in pozzi a gas

T. VAN GOLDFRACHT e G. GORINI, tenendo presenti le soluzioni che i vari autori hanno dato al problema del cono d'acqua nei giacimenti di idrocarburi, sviluppano un metodo di calcolo approssimato, applicabile ai giacimenti a gas, che, rispetto ai precedenti, utilizza termini normalmente noti per i pozzi in produzione, per determinare la portata limite ammissibile ai singoli pozzi evitando il flusso di acqua.

1. *Introduzione.*

Il problema del cono d'acqua costituisce una delle preoccupazioni maggiori per i tecnici di produzione dei giacimenti di olio e gas.

Una soluzione iniziale di questo problema è stata esposta da Muskat [1] per i pozzi ad olio, basandosi sul principio che al contatto acqua-olio si ha sempre l'equilibrio fra il potenziale di pressione e la pressione statica della colonna di acqua sollevata.

Un'altra soluzione è stata elaborata da Lapuk [3] ed esemplificata da Fortunati [4], in cui si tiene conto dell'effetto pellicolare (*skin*) apparente: l'effetto pellicolare di danneggiamento è considerato molto vicino alla parete del pozzo.

In particolare la presente nota discute l'influenza del cono d'acqua nella produzione dei giacimenti a gas e propone un metodo di calcolo approssimato per la determinazione pratica delle portate massime ammissibili ai singoli pozzi evitando il flusso di acqua.

2. *Discussione.*

Si consideri un pozzo penetrato per una profondità b dal tetto (*top*) di uno strato a gas di spessore h (come nella fig. 1): il letto (*bottom*) di questo strato è rappresentato dalla tavola d'acqua.

Le linee di flusso del gas sono influenzate dalla imperfezione idrodinamica del pozzo dovuta alla incompleta penetrazione. Risultano così 2 zone diverse: una esterna ($r_e > r > r_o$) in cui il flusso avrà l'andamento radial-piano ed una interna ($r_o > r > r_w$) per cui l'andamento delle linee di flusso è modificato assumendo anche una componente verticale per il vettore velocità.

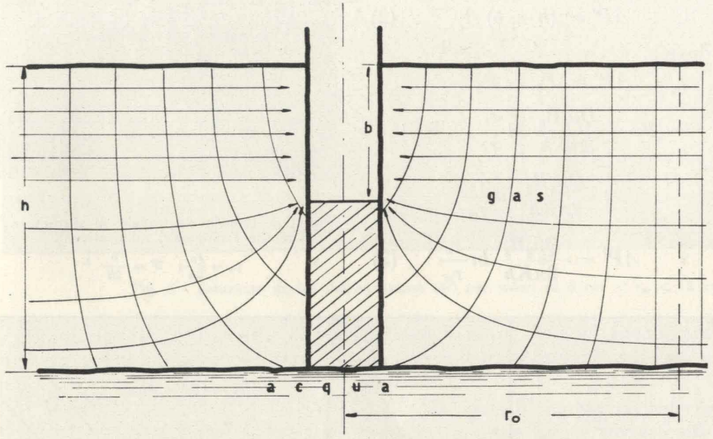


Fig. 1 - Rappresentazione dell'andamento delle linee di flusso in un giacimento a gas per il pozzo a penetrazione incompleta.

D'altra parte le superfici equipotenziali, che nella zona esterna sono cilindri concentrici, si deformano nella zona interna [5]. Una terza zona vicino al pozzo si ha, infine, per il danneggiamento che subisce il medesimo durante la perforazione. Siccome questa zona è limitata ad un raggio r'_w molto vicino a quello del pozzo, si assume la zona di danneggiamento praticamente coincidente con la parete del pozzo.

La perdita di carico totale, rappresentata nella fig. 2 può essere espressa con la relazione:

$$\Delta P_{\text{tot}} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 =$$

$$= \frac{Q \mu_g B_g}{2\pi K h} \left(ln \frac{r_e}{r_w} + c + S \right) \quad (1)$$

Ammettendo naturalmente, in prima approssimazione, che B_g si possa ritenere costante e riferito alla pressione media di giacimento espressa come semisomma delle pressioni al raggio di drenaggio ed a quello del pozzo.

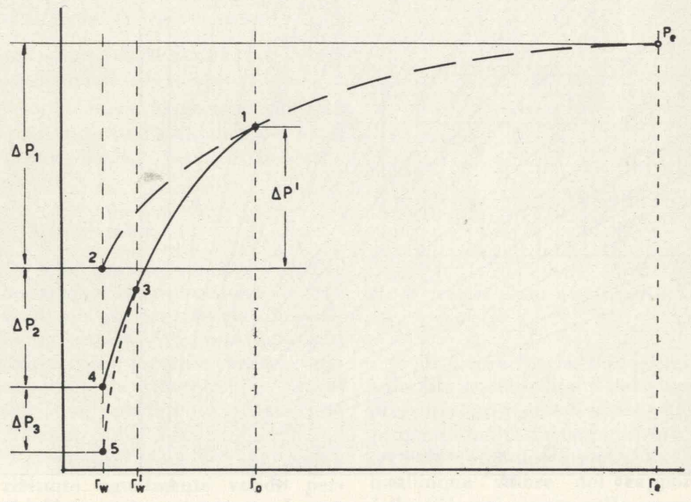


Fig. 2 - Rappresentazione dell'andamento della pressione in un giacimento a gas per il pozzo a penetrazione incompleta.

Se si considera inoltre $r'_w = r_w$, la caduta di pressione ΔP_3 in corrispondenza al danneggiamento espresso dallo skin-effect S, può considerarsi concentrata al raggio r_w — ipotesi simile a quella fatta da Chierici [6].

Per poter arrivare ad una soluzione pratica del problema si può estendere la stessa ipotesi anche per lo skin apparente c e di conseguenza la distribuzione della pressione invece dell'andamento 1, 3, 5 avrà quello 1, 2, 4, 5. Ciò significa che la pressione all'esterno del pozzo (ma nelle sue immediate vicinanze) ha il valore:

$$P_2 = P_e - \frac{Q\mu_g B_g}{2\pi Kh} \ln \frac{r_e}{r_w}$$

Il cono d'acqua tende ad innalzarsi per effetto della distribuzione della pressione. In pratica si può assumere che ad r_o l'innalzamento del cono è praticamente nullo mentre il valore massimo sarà raggiunto nelle immediate vicinanze del pozzo.

Per determinare la portata massima ammissibile, evitando il flusso di acqua in pozzo, è necessario che la caduta di pressione $\Delta P' = P_1 - P_2$ (v. fig. 2) sia uguale alla pressione del battente liquido generata dal cono d'acqua nella sua posizione di massimo innalzamento.

In un sistema di misure coerenti si potranno perciò scrivere le seguenti relazioni:

$$\Delta P' = (h - b)\,\Delta\gamma \qquad (2)$$

dove

$$\Delta P' = P_1 - P_2 =$$

$$= P_e - \frac{Q\mu_g B_g}{2\pi Kh} \ln \frac{r_e}{r_o} - P_e +$$

$$+ \frac{Q\mu_g B_g}{2\pi Kh} \ln \frac{r_e}{r_w}$$

$$\Delta P' = \frac{Q\mu_g B_g}{2\pi Kh} \ln \frac{r_o}{r_w} \qquad (3)$$

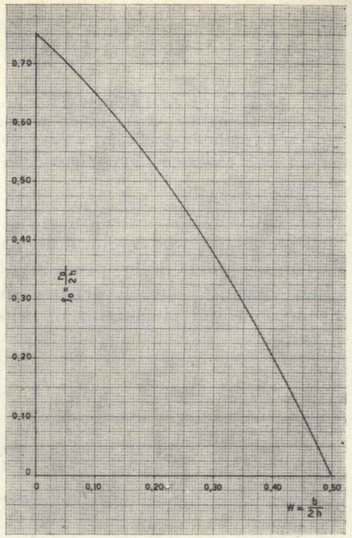


Fig. 3 - Calcolo del raggio di disturbo r_o, tramite i parametri adimensionali

$\rho_o = \frac{r_o}{2h}$; $W = \frac{b}{2h}$

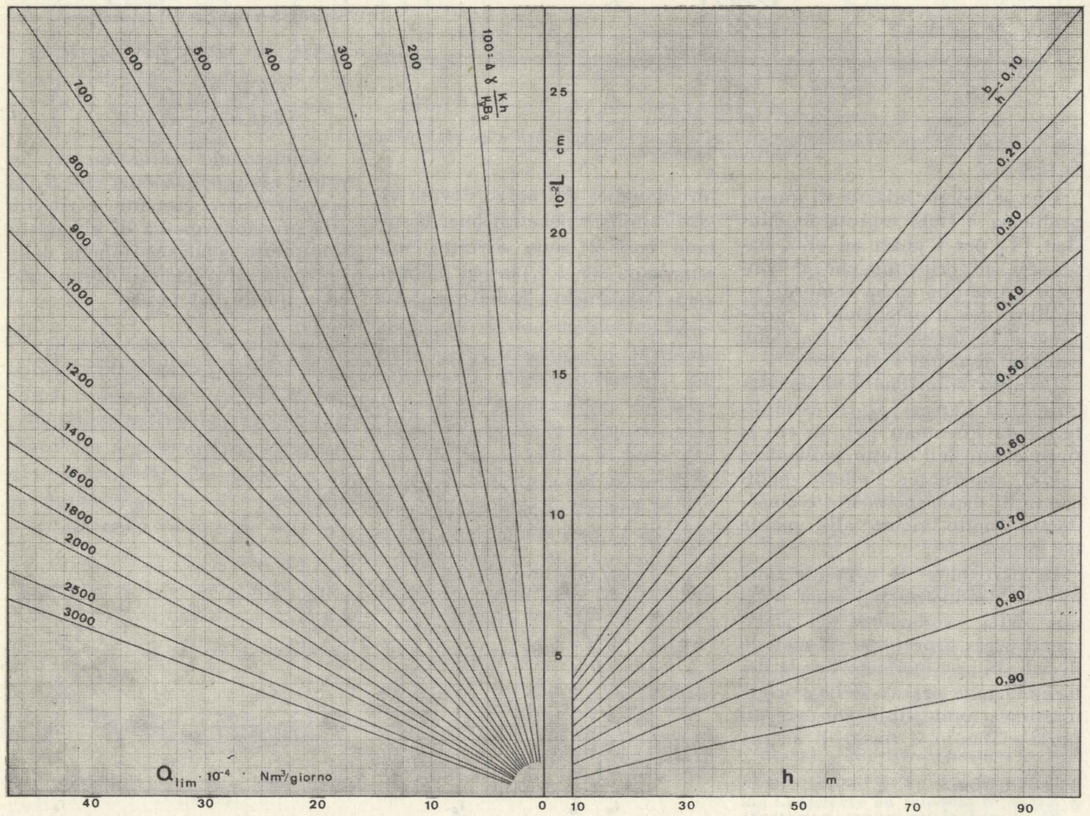


Fig. 4 - Soluzione grafica dell'equazione (4′) per valori di 8 cm $< r_w <$ 12 cm e h compreso tra 10 e 100 m.

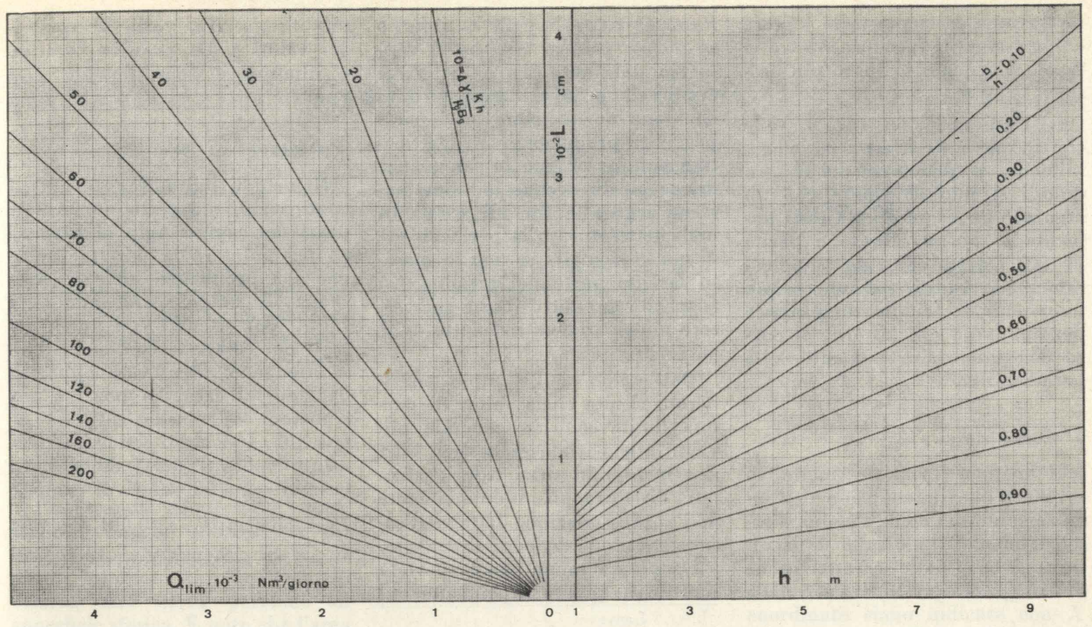


Fig. 5 - Soluzione grafica dell'equazione (4′) per valori di 8 cm $< r_w <$ 12 cm e h compreso tra 1 e 10 m.

Combinando le formule (2) e (3), la portata limite risulterà

$$Q_{lim} = \frac{2\pi Kh\,(h - b)\,\Delta\gamma}{\mu_g B_g \ln \frac{r_o}{r_w}} \qquad (4)$$

Il valore r_o può essere ottenuto dal diagramma di fig. 3 che è stato ricavato dai dati della letteratura [2].

In unità pratiche la formula diventa:

$$Q_{lim}\ (Nm^3/\text{giorno}) = 0{,}236 \times$$

$$\frac{\Delta\gamma(\text{Kg/cm}^3)(h\text{–}b)(\text{cm})Kh(\text{Darcy–cm})}{\mu_g\,(cp) B_g \log \frac{r_o}{r_w}} \qquad (4')$$

Ottenuta la portata si potrà calcolare il corrispondente salto di pressione ΔP effettivo utilizzando l'equazione di flusso del pozzo.

3. *Metodo grafico per la determinazione della portata limite.*

Per le applicazioni usuali, in cui r_w è compreso tra 8 e 12 cm circa, risulta di utile impiego la soluzione grafica della (4′) espressa dai diagrammi di fig. 4 e 5:

— nella parte destra del diagramma in ascisse si trovano i valori di h in m;

— si traccia una verticale dal valore h noto, fino ad incontrare la curva corrispondente al valore b/h;

— da questo punto si traccia una orizzontale fino a trovare sulle ordinate il valore $L = \frac{h - b}{\log \frac{r_o}{r_w}}$ in cm;

— si prosegue l'orizzontale nella parte sinistra del diagramma fino ad incontrare la retta corrispondente al valore noto $\frac{Kh\,\Delta\gamma}{\mu_g B_g}$ (h — cm; K — Darcy; μ_g — cp; $\Delta\gamma$ Kg/cm³)

— si traccia la verticale fino ad incontrare sull'asse dell'ascisse il valore di Q_{lim} espresso in Nm³/giorno.

4. *Osservazioni.*

— Le portate ottenute con l'equazione (4) in funzione di $\Delta P'$ risultano più ottimistiche di quelle ottenibili con considerazioni teoriche più rigorose, perchè sono trascurate le cadute ΔP_2 e ΔP_3 ai fini dell'equilibrio con il cono d'acqua.

— Questo risultato può essere ritenuto ugualmente valido perchè l'errore è compensato almeno parzialmente dalla permeabilità verticale della formazione che in genere è sensibilmente minore di quella orizzontale. D'altra parte la presenza dei setti argillosi di una certa estensione attorno al pozzo aumenterà il valore della portata Q_{lim} ammissibile.

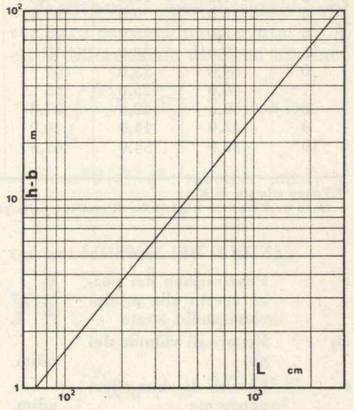


Fig. 6 - Calcolo grafico approssimato di L in funzione di h-b.

— Il valore L, che è proporzionale alla portata limite del pozzo, presenta approssimativamente una proporzionalità lineare con h-b in un diagramma log-log (fig. 6), per qualunque valore del rapporto b/h. Ciò può essere utile quando è incerto il valore del tetto della

formazione e sia possibile leggere dai carotaggi la distanza *h-b* tra la tavola d'acqua e lo sparo più basso.

— Dall'equazione (4) si vede che il valore di Kh fra r_o ed r_w influenza la grandezza del Q_{lim} e quindi si può affermare che un aumento di Kh in questa zona aumenta la portata limite a parità di $\Delta P'$. Questo aumento può sicuramente avvenire soltanto se un intervento di acidificazione agisce per una larga zona attorno al pozzo con importanti aumenti della permeabilità.

5. *Conclusioni.*

Il metodo proposto mette in evidenza che il fenomeno dell'innalzamento del cono d'acqua è essenzialmente dipendente dalla altezza *h-b* e dalle caratteristiche della capacità produttiva Kh della formazione nel raggio r_o intorno al pozzo. Inoltre esso ha il vantaggio, dal punto di vista della sua applicazione, di utilizzare termini che sono normalmente noti per i pozzi in produzione. In particolare non è richiesta la conoscenza del raggio di drenaggio, come avviene negli altri metodi presentati nella letteratura e la permeabilità K non è richiesta se non in quanto facente parte del termine Kh (capacità produttiva) che può essere più sicuramente dedotto dalle curve di risalita.

Dall'esame dell'esempio considerato risulta che i valori di portata limite sono in generale più vicini alle portate reali degli altri due metodi in cui i valori calcolati risentiranno indubbiamente dell'approssimazione fatta nell'assunzione del raggio di drenaggio.

Da notare infine che la portata limite, in quanto dipendente dal termine $\mu_g\ B_g$, varia al variare dei valori della pressione statica e diminuisce sensibilmente con essa.

6. *Esempio di calcolo.*

Il metodo sopradiscusso è stato applicato ad un certo numero di pozzi del campo Agip di Sergnano per valutare la portata limite per una produzione di gas senza acqua di fondo, confrontando i valori così ottenuti con quelli attuali del campo e con quelli che si ottengono estendendo opportunamente al caso dei pozzi a gas i metodi di Muskat [1] e Lapuk [3]. I risultati sono sinteticamente riportati nella tabella 1, in base ai seguenti valori di campo:

$P_e = 88$ atm; $\gamma_a = 0{,}001$ Kg/cm^3;

$\gamma_g = 0{,}0001$ Kg/cm^3;

$B_g = 12 \cdot 10^{-3}$; $\mu_g = 0{,}01315$ cp.

TABELLA 1

N. pozzo	h (m)	b (m)	b/h (%)	Dalle figg. 4-5 L (cm)	Dalle curve di risalita Kh ($D \times$ cm)	Q_{lim} dalla (4′) (Nm³/giorno)	Q_{lim} nel campo (Nm³/giorno)	Q_{lim} (secondo Muskat) (Nm³/giorno)	Q_{lim} (secondo Lapuk et alii) (Nm³/giorno)	P_w corrispondente alla Q limite calcolata con la (4′) (atm)
1	90,8	84,0	92,5	310	804,0	335.000	237.000	532.000	72.000	79,4
2	48,6	42,0	86,5	300	54,8	22.000	129.000	240.000	4.600	87,5
3	101,0	85,5	84,5	600	670,0	540.000	118.000	1.000.000	157.000	0
4	24,0	9,0	37,5	600	8,5	7.000	18.000	9.000	1.600	85,0
5	55,0	25,0	45,5	1.060	30,8	44.000	59.000	72.000	13.800	79,0
6	49,0	23,0	47	950	30,2	39.000	—	60.000	11.000	86,6
6 +	49,0	23,0	47	950	60,0	78.000	105.000	60.000	11.000	?
7	40,0	26,0	65	560	31,0	25.000	—	35.700	4.600	87,2
8	112,5	42,5	37,8	2.100	160,0 *	450.000	229.000	1.396.000	220.000	74,0
9	48,0	14,0	29,2	1.190	42,9	63.000	116.000	100.000	18.300	83,7
10	80,0	54,0	67,5	950	244,7	313.000	236.000	574.000	150.000	65,1

* Valore stimato di Kh.
\+ Dopo acidificazione e iniezione di cemento nella parte inferiore.

T. Van Goldfracht e G. Gorini

INDICE DEI SIMBOLI

b	Penetrazione del pozzo aperto alla produzione nello strato	L
B_g	Fattore di volume del gas	adim.
c	Fattore di skin effect apparente	adim.
h	Spessore della formazione dal top alla tavola d'acqua	L
Kh	Capacità produttiva della formazione	L³
L	$= \dfrac{(h-b)}{\log \frac{r_o}{r_w}}$	L
P_e	pressione di giacimento	ML⁻¹T⁻²
ΔP_{tot}	Caduta totale di pressione	ML⁻¹T⁻²
$\Delta P'$	Caduta di pressione tra r_o ed r_w corrisp. a $\Delta\gamma$ $(h\text{-}b)$	ML⁻¹T⁻²
$\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$	Cadute di pressione parziali come da figura 2	ML⁻¹T⁻²
Q_{lim}	Portata massima ammissibile	L³T⁻¹
r_e	Raggio di drenaggio	L
r_w	Raggio del pozzo	L
r'_w	Raggio della zona danneggiata	L
r_o	Raggio del disturbo	L
$\Delta\gamma$	Differ. di peso specifico tra acqua e gas	ML⁻²-T²
S	Fattore di skin effect per danneggiamento	adim.
μ_g	Viscosità del gas	ML⁻¹T⁻¹

BIBLIOGRAFIA

[1] Muskat M., *Physical principles of oil production*, Mc Graw Hill, 1949, pag. 233.

[2] Muskat M., *Flow of homogeneous fluids through porous media*, Mc Graw Hill, 1956.

[3] Lapuk B. B. et alii, *Del cono d'acqua di fondo nei giacimenti petroliferi*, Nieftanoie Hozaistvo, Mosca 1961, n. 5, pagg. 45-50

[4] Fortunati F., *Del cono d'acqua di fondo nei pozzi d'idrocarburi*, nota interna AGIP, nov. 1962.

[5] Perrotti G., Van Goldfracht T., Galfetti D. e Gorini G., *Influenza e valutazione della imperfezione idrodinamica dei pozzi sulle interpretazioni delle curve di risalita*, Scuola in Azione, n. 12, 1962-63.

[6] Chierici G. L., *Considerazioni sul cono d'acqua*, 1962 (Nota interna AGIP).

Illuminamento da sorgente uniformemente luminante diffusa su disco circolare

GIUSEPPE ANTONIO PUGNO esponendo il procedimento di ricerca dell'illuminamento, riferito a dischi luminosi e a piani illuminati di giaciture varie, ne indica l'impostazione rigorosa. Inoltre discute le formule teoriche di arrivo e suggerisce un modo di risolverle, non ostante le loro complessità, che porta a risultati di buona approssimazione, di agevole applicazione numerica e quindi rispondenti alla esigenza pratica.

Si ricerchi inizialmente il valore dell'illuminamento sul piano π_0 nel punto O generato da una sorgente superficiale, uniformemente diffondente a contorno circolare Γ di centro C, raggio r e contenuta in un piano π di giacitura arbitraria (fig. 1).

Il piano π_0, normale alla OC, formi con π l'angolo ω.

Proiettando da O sulla semisfera di raggio unitario, la cui base di centro O giaccia su π_0, la figura luminosa in questione, si otterrà una certa porzione di superficie sferica. È noto che l'area della proiezione ortogonale di questa porzione sul piano π_0 fornisce, a meno del fattore di proporzionalità « luminanza », l'illuminamento desiderato.

A tale scopo, si assuma una

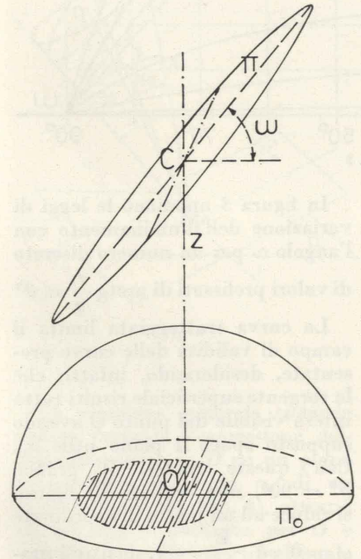


Fig. 1

terna di assi cartesiani ortogonali di origine O di cui l'asse z sia la OC (orientata da O a C), l'asse x risulti parallelo all'intersezione di π_0 con π; dopo di che anche l'asse y risulta determinato.

Con riferimento alla fig. 2, si possono fare le seguenti considerazioni.

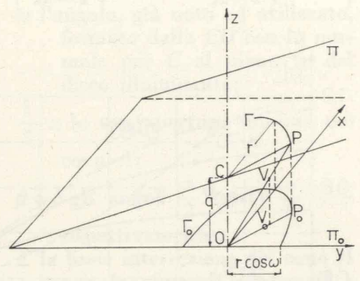


Fig. 2

La proiezione Γ_0 di Γ su π_0 è l'ellisse di centro O e semiassi r sull'asse x ed $r\cos\omega$ sull'asse y e quindi di equazione (nel piano $x\,y$):

$$\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{r^2\cos^2\omega} = 1$$

Questa equazione, considerata nello spazio, rappresenta anche il cilindro, con generatrici parallele all'asse z, che proietta Γ su π_0; sicchè Γ si può pensare come l'intersezione del cilindro suddetto con il piano π la cui equazione è:

$$z = y\,\mathrm{tg}\,\omega + q$$

se q è la distanza OC.

Le coordinate di un punto qualunque P di Γ saranno pertanto:

$$x = r\cos\vartheta$$

$$y = r\cos\omega\cdot\mathrm{sen}\,\vartheta$$

$$z = y\,\mathrm{tg}\,\omega + q = r\,\mathrm{sen}\,\omega\,\mathrm{sen}\,\vartheta + q$$

se ϑ è l'anomalia eccentrica della proiezione P_0 di P sul piano π_0.

La semiretta OP (orientata da O a P) ammette per coseni direttori:

$$\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}\ ;\quad \frac{y}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}\ ;\quad \frac{z}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}\ ;$$

i primi due dei quali, con le opportune sostituzioni, hanno le espressioni:

$$\frac{r\cos\vartheta}{\sqrt{r^2+q^2+2rq\,\mathrm{sen}\,\omega\cdot\mathrm{sen}\,\vartheta}}\ ;\quad \frac{r\cos\omega\cdot\mathrm{sen}\,\vartheta}{\sqrt{r^2+q^2+2rq\,\mathrm{sen}\,\omega\cdot\mathrm{sen}\,\vartheta}}\ ;$$

che misurano le coordinate (su π_0) della proiezione V_0 di quel punto V in cui la semiretta OP incontra la sfera di centro O e raggio unitario.

La curva descritta da V_0, le cui coordinate siano indicate con X e Y, (al variare di ϑ) è simmetrica rispetto all'asse y, per cui l'area racchiusa da essa sarà:

$$2\int_{Y_1}^{Y_2} X\,d\,Y$$

con riserva di precisare i limiti di integrazione al momento di effettuare il calcolo.

Sostituendo nell'integrale ora scritto l'espressione trovata di X ed il differenziale di Y, si ottiene:

$$2\int_{Y_1}^{Y_2} X\,d\,Y = 2\,r^2\cos\omega\,.$$

$$\cdot\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos^2\vartheta\,(r^2+q^2+rq\,\mathrm{sen}\,\omega\cdot\mathrm{sen}\,\vartheta)}{(r^2+q^2\,2r\,q\,\mathrm{sen}\,\omega\cdot\mathrm{sen}\,\vartheta)^2}\,d\vartheta$$

od ancora, quando si ponga

$$\mathrm{tg}\,\frac{\vartheta}{2} = t \quad \text{e}$$

$$K = \frac{2\,rq\,\mathrm{sen}\,\omega}{r^2+q^2}\ ,$$

$$2\int_{Y_1}^{Y_2} X\,d\,Y = \frac{4\,r^2\cos\omega}{r^2+q^2}\cdot$$

$$\int_{-1}^{+1} \frac{(1-t^2)^2\,(t^2+Kt+1)}{(1+t^2)^2\,(t^2+2Kt+1)^2}\,dt$$

L'integrale indefinito corrispondente non è altro che l'integrale di una funzione razionale fratta con il numeratore di grado minore del denominatore e con il denominatore già decomposto nei prescritti fattori reali di grado minimo

(perchè $t^2 + 2Kt + 1$ possiede il discriminante < 0).

Come è ben noto, l'integrazione si può effettuare ponendo:

$$(1)\quad \frac{(1-t^2)^2\,(t^2+Kt+1)}{(1+t^2)^2\,(t^2+2Kt+1)^2} = \frac{At+B}{t^2+1} + \frac{Ct+D}{t^2+2Kt+1} + \frac{d}{dt}\cdot\frac{Et^3+Ft^2+Gt+H}{(1+t^2)\,(t^2+2Kt+1)}$$

ove A, B, C, D, E, F, G, H sono costanti per il momento imprecisate.

Per la determinazione di queste costanti si riscrive la (1) sotto forma:

$$(2)\quad \frac{(1-t^2)^2\,(t^2+Kt+1)}{(1+t^2)^2\,(t^2+2Kt+1)^2} = \frac{At+B}{t^2+1} + \frac{Ct+D}{t^2+2Kt+1} + \frac{3Et^2+2Ft+G}{(1+t^2)\,(t^2+2Kt+1)} - \frac{2t\,(Et^3+Ft^2+Gt+H)}{(1+t^2)^2\,(t^2+2Kt+1)} - \frac{2\,(Et^3+Ft^2+Gt+H)(t+K)}{(1+t^2)\,(t^2+2Kt+1)^2};$$

si riduce la (2) a forma intera e si eguagliano i coefficienti dei termini simili nei due membri.

Si perviene così ad un sistema di Kramer il quale dà: $A = O$; $B = O$; $C = O$; $D = \frac{1}{2}$; $E = -\frac{1}{2}$; $F = O$; $G = \frac{1}{2}$; $H = O$.

Sostituendo questi valori delle costanti nella (1), questa diviene:

$$\frac{(1-t^2)^2\,(t^2+Kt+1)}{(1+t^2)^2\,(t^2+2Kt+1)^2} = \frac{\frac{1}{2}}{t^2+2Kt+1} + \frac{d}{dt}\,\frac{-\frac{1}{2}t^3+\frac{1}{2}t}{(1+t^2)\,(t^2+2Kt+1)}$$

Pertanto

$$\int \frac{(1-t^2)^2\,(t^2+Kt+1)}{(1+t^2)^2\,(t^2+2Kt+1)^2}\,dt = \frac{1}{\sqrt{-\Delta}}\,\operatorname{arctg}\frac{2t+2K}{\sqrt{-\Delta}} - \frac{1}{2}\cdot\frac{t^3-t}{(1+t^2)\,(t^2+2Kt+1)}$$

essendo $\Delta = 4\,(K^2-1)$.

L'integrale definito cercato vale adunque

$$\frac{4\,r^2\cos\omega}{r^2+q^2}\cdot \left\{\left[\frac{1}{\sqrt{-\Delta}}\,\operatorname{arctg}\frac{2t+2K}{\sqrt{-\Delta}}\right]_{-1}^{+1} - \frac{1}{2}\left[\frac{t^3-t}{(1+t^2)\,(t^2+2Kt+1)}\right]_{-1}^{1}\right\} = \frac{2\,r^2\cos\omega}{r^2+q^2}\,\frac{1}{\sqrt{1-K^2}}\cdot \left[\operatorname{arctg}\frac{1+K}{\sqrt{1-K^2}} + \operatorname{arctg}\frac{1-K}{\sqrt{1-K^2}}\right]$$

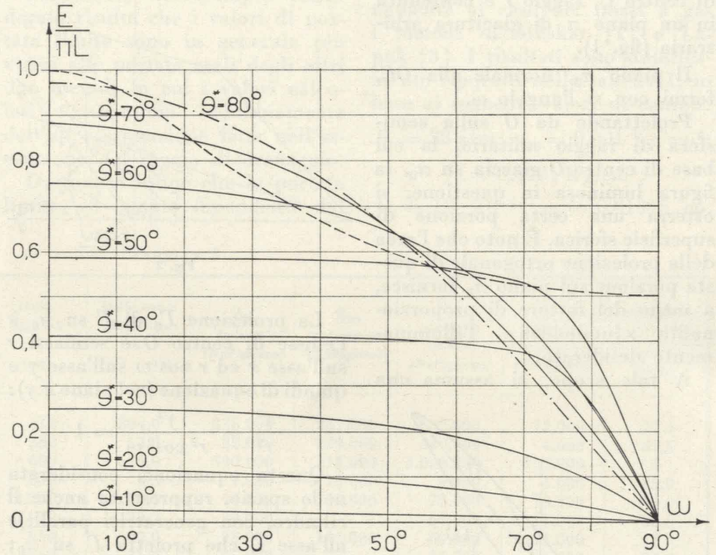


Fig. 3

Ma poichè come si verifica con un facile calcolo [1]:

$$\operatorname{arctg}\frac{1+K}{\sqrt{1-K^2}} + \operatorname{arctg}\frac{1-K}{\sqrt{1-K^2}} = \frac{\pi}{2}$$

si ha in definitiva come valore dell'integrale cercato

$$\pi\cdot\frac{r^2\cos\omega}{r^2+q^2}\,\frac{1}{\sqrt{1-K^2}}$$

Indicando con L la luminanza del disco, l'illuminamento E che questo suscita su π_0 in O, sarà pertanto fornito dalla:

$$E = L\pi\,\frac{r^2\cos\omega}{r^2+q^2}\,\frac{1}{\sqrt{1-K^2}}$$

od anche, sostituendo a K il suo valore:

$$E = L\,\frac{\pi\,r^2\cos\omega}{\sqrt{(r^2+q^2)^2 - 4r^2q^2\operatorname{sen}^2\omega}}$$

L'espressione ora trovata è di indubbia utilità pratica perchè, pur non fruendo di ipotesi semplificative, si presenta sufficientemente agevole alle calcolazioni numeriche.

In figura 3 appaiono le leggi di variazione dell'illuminamento con l'angolo ω per un numero discreto di valori prefissati di $\operatorname{arctg}\frac{r}{q} = \vartheta^*$

La curva tratteggiata limita il campo di validità delle curve presentate, desiderando, infatti, che la sorgente superficiale risulti tutta intera visibile dal punto O avendo supposto opaco il piano utile π_0. Con queste ipotesi il grafico $\vartheta^* = 90°$, non segnato in figura, si riduce ad un punto di coordinate $\omega = 0$ ed $\frac{E}{\pi L} = 1$, mentre i grafici per $\vartheta^* \leqslant 45°$ sono validi per l'intero campo di variazione di ω. D'altro canto l'indipendenza di $\frac{E}{\pi L}$ da ω per $\vartheta^* = 45°$ permette di ravvisare nella sfera di raggio r, passante per il contorno del disco e quindi per O, una superficie isofota di illuminamento $\frac{\pi L}{2}$.

La forma matematica di indeterminazione $\frac{O}{O}$, per $\omega = 90°$ (facilmente risolubile appena si consideri il fenomeno con spirito fisico) individua sulla superficie isolux una circonferenza massima, coincidente con il contorno del disco, di illuminamento (diretto) nullo. Tale discontinuità sarebbe eliminata, ovviamente, se si sostituisse al disco la semisfera di raggio r passante per il suo contorno di ugual e uniforme luminanza.

È questo un caso particolare di quello nel quale il contorno del disco non sia in generale una circonferenza massima. Per esso Lambert fornì la seguente relazione:

$$\frac{E}{\pi L} = \frac{1}{2}\,(1 - \cos 2\vartheta^*).$$

Fig. 4

La soluzione generale richiede ancora tuttavia l'espressione dell'illuminamento in O su un piano π_1 ottenuto ruotando π_0 di un angolo qualunque (fig. 4), attorno ad un asse i passante per O e parallelo a quello attorno al quale è ruotato il disco.

Si risolva dapprima il problema nel caso particolare in cui il piano illuminato presenti una giacitura perpendicolare all'asse del cono Λ le cui generatrici si appoggino al contorno del disco illuminante.

Siano:

- Q il centro della ellisse (figg. 4 e 5), sezione retta del cono Λ, giacente quindi in un piano ortogonale alla OQ;
- γ l'angolo formato dalle rette OC e OQ;
- π_0' il piano del fascio di asse i ed ortogonale alla OQ;
- π_1 il piano del fascio di asse i sul quale si vuole l'illuminamento E_1;
- η l'angolo diedro formato dai due piani π_0' e π_1;
- ω l'angolo, già noto ed utilizzato, formato dalla CO con la normale per C al piano π del disco illuminante;
- $\frac{1}{2}\,\alpha$ la semiapertura minima del cono Λ;
- β e δ gli angoli $\frac{\alpha}{2} - \gamma$ e $\frac{\alpha}{2} + \gamma$ rispettivamente;
- Σ la linea intersezione del cono Λ con la sfera di centro O e raggio unitario;
- Σ_0' la linea proiezione di Σ su π_0';
- Ω_0' l'area racchiusa da Σ_0' esprimente l'illuminamento in O su π_0' per luminanza unitaria;
- Σ_1 la linea proiezione di Σ su π_1;
- Ω_1 l'area racchiusa da Σ_1 esprimente l'illuminamento in O su π_1 per luminanza unitaria.

Risolveremo il problema scindendolo nei seguenti tre problemi parziali successivi.

1) Condotto idealmente il cono Λ di vertice O (fig. 4), se ne consideri l'ellisse sezione retta passante per Q; il centro Q di questa si troverà sull'asse del cono che sarà distinto dalla retta OC e formerà con questa l'angolo γ; si tratta di determinare l'angolo γ e gli elementi dell'ellisse di centro Q.

2) Atteso che l'illuminamento su un piano passante per O dipende dalla intersezione Σ del cono Λ e che il cono proiettante il contorno della sorgente a disco e quello avente per direttrice l'ellisse di centro Q coincidono, si consideri come illuminante la superficie ellittica di centro Q e si determini dapprima l'illuminamento da questa prodotto sul piano π_0'; ossia si definisca la linea Σ_0' e si valuti l'area da essa racchiusa.

3) Si determini poi l'illuminamento prodotto dalla medesima sorgente sul piano π_1; ossia si definisca la linea Σ_1 e si valuti l'area da essa racchiusa.

L'ellisse di centro Q, sezione retta del cono Λ, la quale determina sulla sfera di raggio unitario la medesima linea Σ di quella fornita dalla sorgente circolare di centro C, si dirà « sorgente equivalente ».

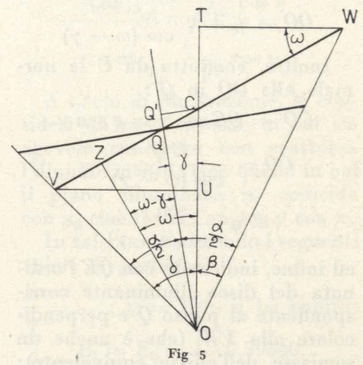


Fig 5

Pertanto, d'ora in poi ai fini della ricerca dell'illuminamento, sarà lecito fare riferimento alla sorgente equivalente estesa ad una superficie a contorno ellittico di semiassi a, b; anche la sorgente equivalente deve considerarsi come uniformemente luminante ed isoluminante rispetto a quella effettiva.

1) Ricerca degli elementi della sorgente equivalente.

Dalla figura 5 si ha:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{T\,W}{OC+CT} = \frac{r\cos\omega}{q + r\operatorname{sen}\omega}$$

e quindi

$$\beta = \operatorname{arctg}\frac{r\cos\omega}{q + r\operatorname{sen}\omega}$$

Analogamente:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{U\,V}{OC-CU} = \frac{r\cos\omega}{q - r\operatorname{sen}\omega}$$

e quindi

$$\delta = \operatorname{arctg}\frac{r\cos\omega}{q - r\operatorname{sen}\omega}$$

Ne consegue

$$\alpha = \beta + \delta = \operatorname{arctg}\frac{r\cos\omega}{q + r\operatorname{sen}\omega} + \operatorname{arctg}\frac{r\cos\omega}{q - r\operatorname{sen}\omega}$$

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} - \beta = \delta - \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2}\left[\operatorname{arctg}\frac{r\cos\omega}{q - r\operatorname{sen}\omega} - \operatorname{arctg}\frac{r\cos\omega}{q + r\operatorname{sen}\omega}\right]$$

[1] O direttamente con la trigonometria, oppure, più rapidamente, osservando che la somma in questione possiede derivata (rispetto a K) nulla e quindi è costante e che per $K = 0$ si trova: $\operatorname{arctg} 1 + \operatorname{arctg} 1 = \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{2}$

Condotta la perpendicolare da O al piano del disco in Z ed esprimendo il cateto OZ dei due triangoli rettangoli OZC e OZQ in funzione delle loro ipotenuse, abbiamo:

$$OZ = OC\cos\omega = OQ\cos(\omega-\gamma) = q\cos\omega = q_0\cos(\omega-\gamma)$$

da cui

$$OQ = q_0 = q\,\frac{\cos\omega}{\cos(\omega-\gamma)}$$

Inoltre, condotta da C la normale alla OQ in Q':

$$CQ' = OC\,\mathrm{sen}\,\gamma = q\,\mathrm{sen}\,\gamma$$

$$CQ = \frac{C\,Q'}{\cos(\omega-\gamma)} = q\,\frac{\mathrm{sen}\,\gamma}{\cos(\omega-\gamma)}$$

ed infine, indicando con QE l'ordinata del disco illuminante corrispondente al punto Q e perpendicolare alla VW (che è anche un semiasse dell'ellisse equivalente):

$$QE = \sqrt{r^2 - \overline{CQ}^2} = \frac{\sqrt{r^2\cos^2(\omega-\gamma) - q^2\,\mathrm{sen}^2\,\gamma}}{\cos(\omega-\gamma)}$$

Indicando ora con $\frac{\varepsilon}{2}$ l'angolo secondo il quale è visto da O il semidiametro QE, abbiamo:

$$\mathrm{tg}\,\frac{\varepsilon}{2} = \frac{QE}{OQ} = \frac{\sqrt{r^2\cos^2(\omega-\gamma) - q^2\,\mathrm{sen}^2\,\gamma}}{q\cos\omega}$$

Sono così determinati gli angoli $\frac{\alpha}{2}$ e $\frac{\varepsilon}{2}$ entro i quali, da O, sono visti i semiassi a e b dell'ellisse equivalente.

2) Illuminamento E_0' prodotto sul piano π_0' perpendicolare alla OQ.

La sorgente equivalente è una ellisse di semiassi

$$b = q_0\,\mathrm{tg}\,\frac{\varepsilon}{2} = q_0\,\frac{\sqrt{r^2\cos^2(\omega-\gamma) - q^2\,\mathrm{sen}^2\,\gamma}}{q\cos\omega}$$

$$a = q_0\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2} = q_0\,\mathrm{tg}\left[\frac{1}{2}\,\mathrm{arctg}\,\frac{r\cos\omega}{q - r\,\mathrm{sen}\,\omega} + \frac{1}{2}\,\mathrm{arctg}\,\frac{r\cos\omega}{q + r\,\mathrm{sen}\,\omega}\right]$$

Se si assumono, con origine in O, tre assi coordinati ortogonali x, y, z, il primo parallelo al semiasse a, il secondo parallelo al semiasse b, ed il terzo pertanto coincidente con la OQ, il contorno dell'ellisse sorgente equivalente è espresso dalle condizioni simultanee

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - 1 = 0$$

$$z = q_0$$

mentre il cono proiettante l'ellisse da O ha per equazione

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{q_0^2} = 0$$

D'altra parte la sfera di centro O e raggio unitario ammette una superficie definita dalla:

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1$$

La simultaneità delle equazioni proprie al cono ed alla sfera definisce, a sua volta, l'intersezione Σ delle due superfici; la proiezione Σ_0' di Σ sul piano π_0', che è il piano xy, ammette un'equazione che si ottiene eliminando z tra quelle del cono e della sfera, cioè

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{1-(x^2+y^2)}{q_0^2} = 0$$

dalla quale, con facili trasformazioni, si ricava

$$\frac{x^2}{\frac{a^2}{a^2+q_0^2}} + \frac{y^2}{\frac{b^2}{b^2+q_0^2}} = 1$$

che rappresenta una ellisse (Beer) i cui semidiametri sono:

$$\frac{a}{\sqrt{a^2+q_0^2}} \qquad \frac{b}{\sqrt{b^2+q_0^2}}$$

e la cui area è

$$\Omega_0' = \frac{\pi\,ab}{\sqrt{(a^2+q_0^2)(b^2+q_0^2)}}$$

Pertanto l'illuminamento E_0' viene ad ammettere la seguente espressione

$$E_0' = L\Omega_0' = L\,\pi\,\mathrm{sen}\,\frac{1}{2}\left[\mathrm{arctg}\,\frac{r\cos\omega}{q + r\,\mathrm{sen}\,\omega} + \mathrm{arctg}\,\frac{r\cos\omega}{q - r\,\mathrm{sen}\,\omega}\right]\cdot \mathrm{sen}\left[\mathrm{arctg}\,\frac{\sqrt{r^2\cos^2(\omega-\gamma) - q^2\,\mathrm{sen}^2\,\gamma}}{q\cos\omega}\right]$$

ove

$$\gamma = \frac{1}{2}\left[\mathrm{arctg}\,\frac{r\cos\omega}{q - r\,\mathrm{sen}\,\omega} - \mathrm{arctg}\,\frac{r\cos\omega}{q + r\,\mathrm{sen}\,\omega}\right]$$

3) Illuminamento E_1 prodotto sul piano π_1 formante l'angolo η con π_0'.

Consideriamo ora il piano π_1 che interseca il piano π_0' secondo la retta da noi scelta per asse y (coincidente con l'asse i di fig. 4).

Si tratta di trovare l'area Ω_1 racchiusa dalla linea Σ_1, proiezione di Σ su π_1.

Intanto l'equazione del piano π_1 rispetto alla nostra solita terna è

$$z - m\,x = 0 \quad \text{o anche} \quad z = \mathrm{tg}\,\eta\cdot x$$

La linea Σ intersezione del cono Λ con la superficie sferica di raggio unitario è costituita da punti le cui coordinate siano x', y', z'; la linea Σ_1 proiezione di quella Σ sul piano π_1 è costituita da punti le cui coordinate generiche siano x_1, y_1, z_1:

Dalla figura 6 si desumono le seguenti relazioni tra le coordinate x', y', z' e x_1, y_1, z_1.

$$x_1 = \frac{1}{1+m^2}\,x' + \frac{m}{1+m^2}\,z'$$

$$y_1 = y'$$

$$z_1 = \frac{m}{1+m^2}\,x' + \frac{m^2}{1+m^2}\,z'$$

direttamente desumibili dalle formule d'arrivo della Nota (2).

La linea Σ_{10} proiezione della Σ_1 sul piano xy comprenderà punti le cui coordinate generiche saranno ancora:

$$x_{10} = \frac{1}{1+m^2}\,x' + \frac{m}{1+m^2}\,z'$$

$$y_{10} = y'$$

---

(2) Dal confronto dei triangoli simili OM_1M_2 e M_1MM_3, abbiamo:

$$\frac{OM_2}{M_2M_1} = \frac{M_1M_3}{M_3M}$$

da cui successivamente:

$$\frac{x_1}{z_1} = \frac{z'-z_1}{x_1-x'}$$

$$(x_1-x')\,\frac{x_1}{z_1} = -(z_1-z')$$

$$\frac{x_1-x'}{m} = \frac{z'-z_1}{-1}$$

Poichè la retta intersezione dei due piani π_0' e π_1 è l'asse y, le coordinate y_1 e y' saranno uguali. Pertanto le coordinate dei punti di Σ_1 risponderanno alle seguenti tre condizioni

$$x_1 - x' = m(z'-z_1) = -m(mx_1 - z')$$

$$y_1 = y'$$

$$z_1 = mx_1$$

e ricordando che

$$m = \frac{z}{x} = \mathrm{tg}\,\eta$$

si avrà ancora

$$x_{10} = \cos^2\eta\cdot x' + \mathrm{sen}\,\eta\cdot\cos\eta\cdot z' = x_1$$

$$y_{10} = y' = y_1$$

Ricordando che l'ellisse può essere tracciata con la ben nota costruzione dei due cerchi di raggi pari ai due semiassi a, b, e dando a φ il significato di anomalia eccentrica, si ha subito:

$$x_1 = x_{10} = \frac{\cos\eta}{\sqrt{a^2\cos^2\varphi + b^2\,\mathrm{sen}^2\,\varphi + q_0^2}}\cdot[a\cos\eta\cdot\cos\varphi + q_0\,\mathrm{sen}\,\eta]$$

$$y_1 = y_{10} = \frac{\mathrm{sen}\,\varphi}{\sqrt{a^2\cos^2\varphi + b^2\,\mathrm{sen}^2\,\varphi + q_0^2}}\,b$$

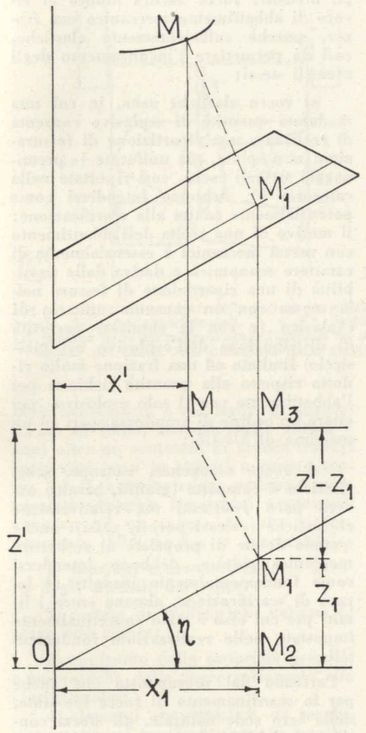


Fig. 6

L'area Ω_{10} racchiusa sul piano xy dalla linea Σ_{10}, ricordando che essa è simmetrica rispetto all'asse x, vale evidentemente

$$\Omega_{10} = 2\int y_1\,d\,x_1 = 2\int_0^{\pi} y_1\,\frac{dx_1}{d\varphi}\,d\varphi$$

e quella $\Omega_1 = \frac{\Omega_{10}}{\cos\eta} =$

$$= \frac{2}{\cos\eta}\int_0^{\pi} y_1\,\frac{dx_1}{d\varphi}\,d\varphi =$$

$$= \frac{2}{\cos\eta}\int_0^{\pi}\frac{b\,\mathrm{sen}\,\varphi}{R^4}\cdot$$

$$[-q_0\,\mathrm{sen}\,\eta\cos\eta\,(b^2-a^2)\,\mathrm{sen}\,\varphi\cos\varphi + a\cos^2\eta\,(-\mathrm{sen}\,\varphi R^2 + a^2\cos^2\varphi\,\mathrm{sen}\,\varphi - b^2\,\mathrm{sen}\,\varphi\cos^2\varphi)]\,d\varphi =$$

$$= \frac{2}{\cos\eta}\int_0^{\pi}\frac{b\,\mathrm{sen}\,\varphi}{R^4}\,H\,d\varphi$$

avendo posto

$$R = \sqrt{a^2\cos^2\varphi + b^2\,\mathrm{sen}^2\,\varphi + q_0^2}.$$

Si tratta di un'integrale riconducibile all'integrale di una funzione razionale, introducendo come variabile di integrazione $\mathrm{tg}\,\varphi$ oppure $\mathrm{tg}\,\frac{\varphi}{2}$; è però laborioso il calcolo materiale. Invece si possono indicare due valori approssimati, di cui uno per difetto e l'altro per eccesso con estrema facilità.

Difatti, poichè R^4 è una quantità compresa tra $(b^2+q_0^2)^2$ e $(a^2+q_0^2)^2$, pure $\frac{2}{\cos\eta}\int_0^{\pi}\frac{b\,\mathrm{sen}\,\varphi}{R^4}\,H d\varphi$ risulterà compreso tra

$$\frac{2}{\cos\eta}\int_0^{\pi}\frac{b\,\mathrm{sen}\,\varphi}{(a^2+q_0^2)^2}\,H\,d\varphi$$

e

$$\frac{2}{\cos\eta}\int_0^{\pi}\frac{b\,\mathrm{sen}\,\varphi}{(b^2+q_0^2)^2}\,H\,d\varphi$$

Ora $\int_0^{\pi}\mathrm{sen}\,\varphi\cdot H\cdot d\varphi =$

$$= -\frac{\pi}{2}\,(q_0^2+b^2)\,a\cos^2\eta$$

come si desume dalla Nota (3).

In definitiva si potrà affermare che l'area cercata Ω_1 risulterà compresa tra i seguenti valori:

$$\pi\,ab\,\frac{q_0^2+b^2}{(q_0^2+a^2)^2}\cos\eta\,;$$

$$\pi\,ab\,\frac{1}{q_0^2+b^2}\cos\eta\,.$$

A titolo di illustrazione, si consideri un caso speciale in cui sia agevole conoscere con esattezza l'illuminamento; cioè quello in cui il piano illuminato π_1 coincida con π_0 cioè formi l'angolo γ con π_0'.

In tal caso assumendo i seguenti valori di partenza:

$$\frac{r}{q} = \frac{1}{2}\,;\ \omega = 30^{\circ};\ \text{si ha subito:}$$

$$E_1 = E_0 = L\cdot 0{,}59340$$

mentre i due illuminamenti limiti sono

$$E_{1\,\min} = L\cdot 0{,}58038$$

$$E_{1\,\max} = L\cdot 0{,}63430$$

che comprendono appunto tra sè E_1.

Questo studio, tra le altre applicazioni, può utilmente riferirsi al caso di un piano orizzontale illuminato da diversi lucernari circolari situati in un altro piano orizzontale.

Giuseppe Antonio Pugno

BIBLIOGRAFIA

Prof. Ing. Cesare Codegone, *Problemi di illuminazione*, Ed. ing. V. Giorgio, 1950.

J. H. Lambert, *Photometria*, Augustae Vindelicorum MDCCLX.

Yamauti, *Res. Elec. Lab.*, Tokyo, 1924.

A. Beer, *Grundriss des photometrischen Calcüles*, Braunschweig, 1854.

P. Moon, *The scientific basis of Illuminating Engineering*, New York, 1936.

---

(3) Difatti $\int_0^{\pi}\mathrm{sen}\,\varphi\,H d\varphi = -q_0\,\mathrm{sen}\,\eta\cos\eta\,(b^2-a^2)\int_0^{\pi}\mathrm{sen}^2\,\varphi\cos\varphi\,d\varphi + a\cos^2\eta\int_0^{\pi}(-b^2\,\mathrm{sen}^4\,\varphi - q_0^2\,\mathrm{sen}^2\,\varphi - b^2\,\mathrm{sen}^2\,\varphi\cdot\cos^2\varphi)\,d\varphi = q_0\,(a^2-b^2)\,\mathrm{sen}\,\eta\cos\eta\left[\frac{\mathrm{sen}^3\,\varphi}{3}\right]_0^{\pi} + a\cos^2\eta\int_0^{\pi}[-b^2\,\mathrm{sen}^4\,\varphi - q_0^2\,\mathrm{sen}^2\,\varphi - b^2\,\mathrm{sen}^2\,\varphi(1-\mathrm{sen}^2\,\varphi)]\,d\varphi =$

$$= 0 + a\cos^2\eta\int_0^{\pi}(-q_0^2\,\mathrm{sen}^2\,\varphi - b^2\,\mathrm{sen}^2\,\varphi)\,d\varphi = -(q_0^2+b^2)\,a\cos^2\eta\int_0^{\pi}\mathrm{sen}^2\,\varphi\,d\varphi = -(q_0^2+b^2)\,a\cos^2\eta\int_0^{\pi}\frac{1+\cos 2\varphi}{2}\,d\varphi =$$

$$= -(q_0^2+b^2)\,a\cos^2\eta\left[\frac{\pi}{2} + \frac{1}{4}\int_0^{\pi}\cos 2\varphi\cdot 2\,d\varphi\right] = -(q_0^2+b^2)\,a\cos^2\eta\left[\frac{1}{2}\,\pi + \frac{1}{4}\,|\,\mathrm{sen}\,2\varphi\,|_0^{\pi}\right] = -\frac{\pi}{2}\,(q_0^2+b^2)\,a\cos^2\eta\,.$$

Possibilità ed attuazioni nel campo dell'abbattimento delle rocce con " ripper "

ENEA OCCELLA, analizzato brevemente il principio di funzionamento degli utensili scarificatori, riporta una serie di esempi di applicazione della tecnica di escavazione con « ripper » in coltivazioni italiane, traendone motivi di osservazioni sulle caratteristiche delle rocce abbattute e sulle più opportune condizioni di esercizio delle macchine.

0. *Possibilità di abbattimento delle rocce per via meccanica diretta.*

Nel quadro della meccanizzazione delle operazioni di abbattimento si sono sviluppate nell'ultimo quindicennio — in aggiunta agli escavatori derivati dai tipi a cucchiaia od a tazze — macchine idonee al diretto distacco delle rocce dalla loro sede naturale per azione di taglio, con asportazione di un vero e proprio truciolo (piallatrici ed escavatrici integrali), ovvero per limitata rottura di blocchi lungo superfici potenziali di discontinuità (scarificatori o « ripper»).

Nel primo gruppo di macchine gli utensili determinano la riduzione dell'abbattuto in piccoli frammenti, in quanto l'azione prevalente di taglio da essi esercitata si esplica con piccole passate o con moderati avanzamenti, su rocce fragili o tenere, poco resistenti a trazione, eventualmente già incrinate per motivi intrinseci od in seguito alla concentrazione delle tensioni indotte dagli scavi presso le pareti libere: la relativa applicazione — tipica del sotterraneo — è limitata così al campo dei sali, di taluni grezzi limonitici e dei carboni, per i quali studi sistematici sono stati ormai da qualche anno intrapresi anche in sede teorica e sperimentale sull'azione dei taglienti nei riguardi del distacco dei frammenti di roccia [1].

Per quanto concerne i ripper — a cui più propriamente è rivolto questo studio — un utensile scarificatore (detto « dente » o « chiodo »), connesso ad un trattore (v. fig. 1), opera una sconnessione ed uno scardinamento di blocchi, lungo direttrici rettilinee, a velocità dell'ordine di parecchi decimetri al secondo e per profondità che possono anche raggiungere il metro, usufruendo di superficie di distacco preesistenti o potenziali ed agendo per passate successive orizzontali, verso il basso. La presenza di superficie di distacco o di minor resistenza vi è essenziale nei riguardi della delimitazione della pezzatura dell'abbattuto e della possibilità di azione delle macchine, le quali — anche in funzione del tipo di motori a combustione interna da cui sono mosse — trovano attualmente una applicazione soltanto negli scavi a giorno.

Agli effetti di una suddistinzione delle rocce nei riguardi delle possibilità di un abbattimento con la scarificazione, queste si possono dividere, in ordine di idoneità decrescente, in:

a) rocce stratificate, in banchi suborizzontali o poco inclinati, con giunti di stratificazione aventi proprietà di resistenza alla trazione molto ridotte e posti a distanze non superiori all'ordine di grandezza della pezzatura richiesta per l'abbattuto: rocce fondamentalmente idonee per loro natura alla scarificazione, giocando sull'orientazione del lavoro di scardinamento e di sollevamento dei singoli strati o dei loro pacchi;

b) rocce omogenee fessurate, con ripartizione delle litoclasi a distanze non maggiori dell'ordine di grandezza della pezzatura richiesta per l'abbattuto o comunque della profondità di passata degli utensili: rocce ancora idonee al lavoro di abbattimento meccanico con ripper, purchè sufficientemente elastiche, così da permettere l'incuneamento degli utensili stessi;

c) rocce elastiche sane, in cui una moderata quantità di esplosivo consenta di realizzare una ripartizione di fessurazioni non spinta, ma uniforme (« preminaggio »): tali rocce, così riportate nella categoria *b*), debbono intendersi come potenzialmente adatte alla scarificazione; il motivo di una scelta dell'abbattimento con mezzi meccanici è essenzialmente di carattere economico e deriva dalle possibilità di una ripartizione di fessure nella massa con un consumo unitario di esplosivo (e con le connesse necessità di distribuzione dell'esplosivo nel massiccio) limitato ad una frazione molto ridotta rispetto alla quantità richiesta per l'abbattimento con il solo esplosivo (per citare un ordine di grandezza, pari ad un massimo di 1/3-1/5);

d) rocce omogenee, isotrope, sane, elastiche e compatte (graniti, basalti) ovvero poco resistenti ma relativamente anelastiche (calcari porosi, gessi): anche quando dotate di proprietà di resistenza meccanica ridotte, debbono intendersi come fondamentalmente inadatte al lavoro di scarificazione, almeno entro i limiti per cui esso è stato concettualmente impostato nelle realizzazioni fondamentali.

Partendo dal presupposto che anche per lo scardinamento di rocce fessurate, nella loro sede naturale, gli sforzi concentrati richiesti ai mezzi meccanici sono ingenti, la tecnica di abbattimento con ripper deve poter usufruire di macchine di grande potenza e di grande peso [2]; pertanto una prima, generale e fondamentale limitazione deriva per questo sistema di abbattimento, che deve essere applicato nei soli casi di grandi potenzialità e produzioni unitarie, affinchè la incidenza del costo del capitale risulti globalmente ragionevole (ad eccezione naturalmente dei casi in cui i trattori connessi ai ripper possano anche essere utilizzati contemporaneamente per lavori secondari di sgombero, di scopertura, di tracciamento delle vie o per opere di trasporto). Ancora per fissare un ordine di grandezza, la produzione unitaria minima per turno di una macchina adibita allo scavo ed alla rimozione dell'abbattuto può essere dell'ordine di un migliaio di tonnellate.

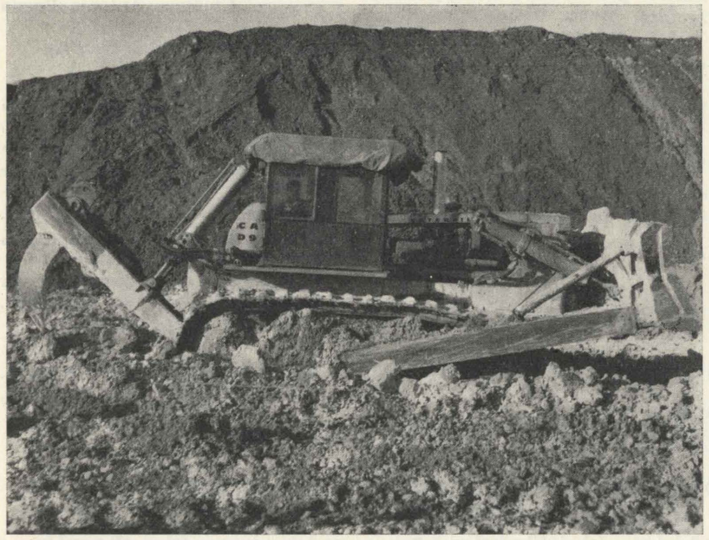


Fig. 1 - Tipica realizzazione di un ripper, collegato — insieme ad un dozer — a trattore cingolato.

Per apportare un contributo allo sviluppo ed alle soluzioni dei numerosi problemi oggi posti nel campo dell'abbattimento delle rocce con ripper — che hanno trovato larga e facile espansione ma volta durante l'ultima guerra, trainati da locomotori a vapore od a motore diesel, per la distruzione sistematica delle vie ferrate: l'utensile, incuneandosi sotto le traversine, sollevandole dalla loro sede ed inflettendole a contrasto del peso dell'ultimo carrello opportunamente caricato, ne provocava lo scardinamento dalle staffe e la rottura lungo l'asse mediano dei binari.

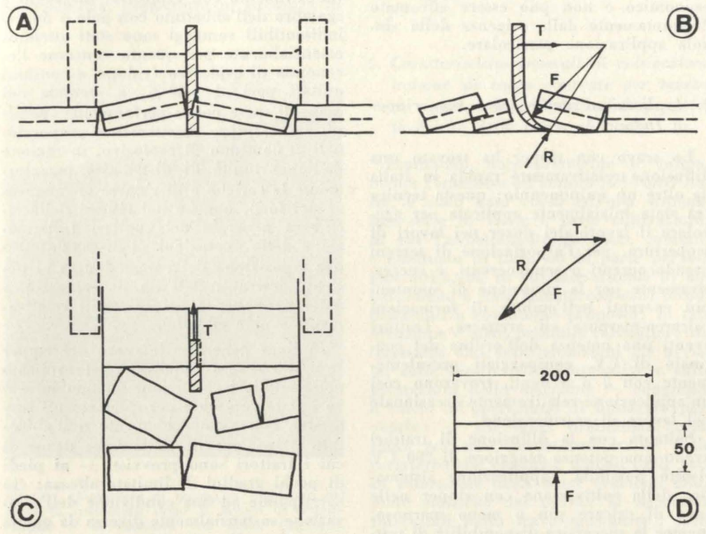


Fig. 2 - Schematizzazione della funzione dell'utensile scarificatore, per la rottura a flessione di banchi di rocce suborizzontali. A e B: Sezioni verticali dei banchi di roccia; C: Pianta; D: Schema delle forze applicate all'utensile in un caso particolare (T = tiro del trattore; R = reazione dei banchi non interessati dallo scavo; F = forza applicata dai banchi scarificati).

nelle coltivazioni e nei lavori di sbancamento in Italia, cosicchè negli ultimi 5 anni oltre un centinaio di grandi trattori sono stati posti in attività a questo scopo — si esamineranno pertanto nelle successive pagine i seguenti argomenti, connessi ad un tempo ad una ricerca operativa, bibliografica e sperimentale:

1) funzioni e caratteristiche di lavoro degli utensili dei ripper;

2) esempi di applicazioni italiane di scavo con ripper;

3) confronto delle proprietà generali e meccaniche delle rocce sottoposte alla scarificazione;

4) elementi economici e di produzione connessi con l'adozione di macchine di differente potenza;

5) osservazioni particolari sull'impiego di un preminaggio;

6) possibilità applicative dei ripper;

7) tendenze costruttive recenti per i trattori e gli utensili scarificatori.

1. *Funzioni e caratteristico modo operativo degli utensili scarificatori.*

L'analisi del funzionamento di un utensile scarificatore non può prescindere dal ricordo dello scopo per cui i ripper furono concepiti ed utilizzati per la prima volta durante l'ultima guerra, trainati da locomotori a vapore od a motore diesel, per la distruzione sistematica delle vie ferrate: l'utensile, incuneandosi sotto le traversine, sollevandole dalla loro sede ed inflettendole a contrasto del peso dell'ultimo carrello opportunamente caricato, ne provocava lo scardinamento dalle staffe e la rottura lungo l'asse mediano dei binari.

La trasposizione di questa funzione nella più felice moderna applicazione chiarisce di per sè sola il corretto modo operativo dell'utensile, per il sollevamento e la rottura di pacchi di banchi di rocce stratificate suborizzontali, poco oltre la mezzeria dell'appoggio del carrello o della coppia di cingoli che lo sostengono (fig. 2 A, B, C).

Prescindendo cioè dai casi in cui il ripper deve semplicemente esercitare un'azione di sommuovimento disordinato di terreni poco coerenti per renderli più sciolti e facilitarne l'opera di spostamento da parte di lame scraper o dozer (evenienza riservata a lavori di scopertura in terreni eluvio-alluvionali od in rocce molto alterate, per cui appare più conveniente l'adozione di utensili a più denti), l'utensile deve cioè esercitare un'opera di incuneamento sotto agli strati di roccia coerente e di loro rottura alla flessione (v. fig. 3).

L'enunciato da una parte spiega automaticamente la limitazione delle applicazioni citata al paragrafo precedente (a strati poco inclinati, in pacchi poco cementati, per facilitare l'azione di penetrazione lungo i relativi giunti) e dall'altra chiarisce le tendenze costruttive recenti per utensili e macchine.

Ammettendo valida la schematizzazione alquanto semplicistica del tracciato delle forze indicata in fig. 2 B e D, si può infatti dedurre che — per profondità di passata dell'ordine di 50 cm in un solo banco di tale spessore — occorrono sforzi di traino dell'ordine di 50 t per portare a rottura rocce aventi resistenza a trazione di circa 50 kg/cm²; lo stesso sforzo consente di portare a rottura pacchi di 2 strati dello spessore di 25 cm, quando la relativa resistenza a trazione sia di 100 kg/cm².

Qualora il dente non sia in grado di usufruire del distacco preferenziale tra i banchi da dislocare, ma operi per azione prevalente di compressione e taglio, è possibile che avvenga una semplice sua penetrazione — con tracciamento di un solco continuo — quando, sempre applicando il predetto tiro di 50 t su un utensile della larghezza di 10 cm, la roccia raggiunga il limite di rottura o di plastificazione a carichi di 100 kg/cm² (od in proporzione inversa alla penetrazione verticale). Quando la roccia sia dotata di carichi di rottura di oltre 500 kg/cm², senza la possibilità di esercitare azioni di taglio o di trazione, anche trainі di 50 t sono insufficienti alla prosecuzione del lavoro ed all'avanzamento della macchina, pur su passate ridotte alla decina di centimetri, corrispondenti ad un lavoro di demolizione trascurabile; l'utensile allora si « impunta ».

È quindi immediatamente conseguente che le rocce meglio idonee al lavoro di scarificazione sono quelle a stratificazione ripetuta piuttosto fittamente, fragili, poco resistenti alla flessione ed al taglio, non rifluenti plasticamente, ma dotate di una certa resistenza alla penetrazione (o « durezza » in scala macroscopica).

Quanto detto spiega le tendenze costruttive recenti per la tecnica di abbattimento con « ripper », che si possono sintetizzare in:

I) realizzazione di utensili di varia curvatura, impiegabili in rocce più o meno fittamente stratificate, od in pacchi di strati non orizzontali (v. fig. 4 A e B);

Fig. 3 - Il risultato del lavoro di scarificazione in banchi suborizzontali di medio spessore.

II) realizzazione di diversi dispositivi di sopporto dell'utensile e di suo contrasto sulla roccia, anche in rapporto all'equilibrio delle forze implicito nella fig. 2 C (sopporti a carrello; connessione diretta ai trattori con cerniere di differente braccio di azione (fig. 5 A) o con parallelogrammi articolati (fig. 5 B));

III) realizzazione di particolari tipi di utensili, adatti a concentrare nella massa di rocce omogenee sforzi capaci di indurvi sistemi di fratturazioni relativamente grossolane, essenzialmente per azione di taglio;

IV) aumento dei pesi delle macchine e — coordinatamente — delle potenze

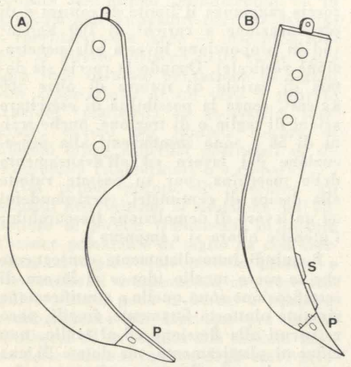


Fig. 4 - Utensili normali per la scarificazione, con punta sostituibile (P) e scarpette antiusura (S) per la difesa del dente. A: ricurvo; B: diritto.

installate in una sola macchina, per la utilizzazione in rocce delle categorie *b*) e *c*), di cui al precedente paragrafo, con una congrua riduzione dell'energia da impartire sotto forma di energia d'urto, in connessione con l'uso di esplosivi. Si è così passati in una decina d'anni dall'impiego di trattori di un centinaio di CV (adatti soltanto alla scarificazione di terreni alluvionali o di rocce sfatte) a quelli di oltre 200 CV (impiegabili in rocce marnose od argilloscistose ben stratificate), a quelli di oltre 350 CV (già utilizzati in rocce elastiche fessurate in posto per motivi naturali o con l'uso del preminaggio). Si citano poi esempi di applicazione di coppie di trattori (« in tandem »), di cui uno traente e l'altro addetto alla spinta ed alla penetrazione e contrasto dell'utensile, sino ad utilizzare contemporaneamente circa 800 CV in un solo punto di abbattimento. Sono infine allo studio realizzazioni di trattori singoli dotati di una potenza globale di oltre 750 CV, esplicata da una coppia di motori diesel;

V) applicazione nei grandi modelli di riduttori idraulici della coppia e di « power shift », per l'adeguamento istantaneo della potenza disponibile ai vari tiri necessari alla scarificazione di rocce non troppo omogenee, senza la necessità di provvedere a cambi manuali di marcia.

Con l'incremento delle potenze disponibili nella singola macchina si aggrava ovviamente ed automaticamente la limitazione del minimo di potenzialità o produzione unitaria di ogni trattore, nonchè della produzione globale di una sola macchina nella sua vita, connaturata con il maggior onere globale del costo del capitale. L'idea di ampliare il campo delle rocce abbattibili meccanicamente non può quindi essere disgiunta dalla necessità di suddividere gli oneri del capitale su una produzione totale assai elevata. Il problema si sposta allora su un piano economico e non può essere affrontato disgiuntamente dalle esigenze della singola applicazione particolare.

2. *Applicazioni dello scavo con ripper in Italia.*

Lo scavo con ripper ha trovato una diffusione relativamente rapida in Italia da oltre un quinquennio: questa tecnica era stata inizialmente applicata per agevolare il lavoro dei dozer nei lavori di scopertura, per l'asportazione di terreni pseudocoerenti o semicoerenti, e successivamente per la rimozione di spuntoni più coerenti nell'ambito di formazioni calcareo-marnose ed arenacee. Trattori aventi una potenza dell'ordine del centinaio di CV, equipaggiati prevalentemente con 2 o 3 denti, trovarono così un'applicazione relativamente occasionale nel lavoro di scarificazione.

Soltanto con la diffusione di trattori aventi una potenza maggiore di 200 CV risultò possibile l'applicazione sistematica della coltivazione con ripper nelle cave di calcare più o meno marnoso, mentre la successiva disponibilità di trattori di oltre 350 CV consentì l'estensione dell'utilizzazione della scarificazione ai calcari ad alto titolo, alle serpentine amiantifere ed ai minerali di ferro (Elba, Sardegna).

In qualche caso, ad una serie di primi successi — consistenti nel facile abbattimento di zolle rocciose già dislocate da precedenti volate, in prossimità dei piedi delle grandi mine cilindriche — parve seguire qualche insuccesso, non appena vennero raggiunti banchi o strati non più compresi nelle zone di « commozione » delle volate stesse. Ma l'introduzione sistematica od occasionale del « preminaggio » superò l'ostacolo in buona parte delle cave, consentendo il successivo lavoro degli utensili scarificatori in condizioni accettabili.

È ovvio che una certa complicazione dei lavori di abbattimento venne in tal modo introdotta, rispetto alla situazione di abbattimento e rimozione della roccia con soli mezzi meccanici. Tuttavia, nel confronto con la situazione preesistente (abbattimento con esplosivi; disgaggio e sgombro dell'abbattuto con pale o dozer) indiscutibili vantaggi sono stati ottenuti, essenzialmente per quanto concerne l'economia di esplosivo (ridotto a consumi unitari pari al 5-30 %, a seconda dei casi), di spese per la perforazione (peraltro non sempre direttamente proporzionali al consumo di esplosivo, in ragione dell'opportunità di distribuire maggiormente le cariche e di ridurre le lunghezze dei fori), nonchè nei riflessi della sicurezza generale dei cantieri (eliminazione delle operazioni di disgaggio; minor esposizione della manodopera ai pericoli derivanti dall'uso di esplosivo o dalla permanenza presso fronti relativamente ripide ed alte).

In linea generale il lavoro del ripper si è dimostrato opportuno ed esplicato nelle migliori condizioni quando lo scavo è stato compiuto per splateamenti successivi, con ammucchiamento dell'abbattuto — usufruendo della lama dozer di cui i trattori sono provvisti — ai piedi di pochi gradini di limitata altezza: ciò corrisponde ad una condizione dell'escavazione sostanzialmente diversa da quella esistente nelle classiche coltivazioni a gradini; in qualche caso la configurazione dei giacimenti è risultata poco compatibile con lo scavo meccanico (soprattutto nel caso di stratificazioni verticali).

Tuttavia si è notato che è possibile in molte cave estendere il lavoro di scarificazione a strati assai inclinati, adeguandosi ai differenti tipi di depositi, sia continuando a procedere per passate suborizzontali (anche nei casi in cui la morfologia della coltivazione deve procedere a gradini), ovvero lavorando sui piani di stratificazione (anche quando questi hanno pendenze dell'ordine del 30 %: figura 6), in ogni caso agendo nella direzione dell'immersione dei banchi.

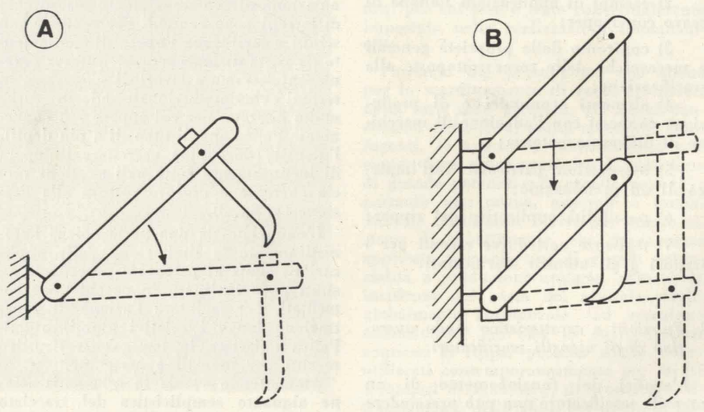


Fig. 5 - Caratteristici sistemi di attacco dell'utensile scarificatore al trattore. A: a cerniera; B: a quadrilatero articolato.

Più recenti tentativi hanno voluto estendere l'abbattimento con ripper (equipaggiati però con utensili classici, ad uno o tre denti, di lunghezza di almeno 60 cm) alla « pietra da gesso ». In accordo a quanto implicito nella discussione della funzione del dente scarificatore precedentemente accennato, le proprietà di questa roccia (poco fragile, poco elastica, soprattutto in presenza di acqua, originariamente non fratturata in blocchi e comunque inadatta ad una fessurazione minuta in sito per operazioni di preminaggio; spesso molto compatta, dotata di resistenze a flessione, trazione ed a taglio più elevate di quanto non comporterebbero i consueti rapporti rispetto alla relativamente modesta resistenza a compressione [3]) non hanno permesso sinora — sia nel Casalese che nel Ravennate — un soddisfacente esito del lavoro dei ripper: vi si è infatti determinato, con lavori di scarificazione su linee parallele o su serie di allineamenti incrociati, il semplice tracciamento di solchi continui, di pochi centimetri, sino a 2 decimetri di profondità, con totale distruzione di una modesta porzione di roccia e sua riduzione a dimensioni dell'ordine di pochi centimetri od addirittura di pochi millimetri (v. fig. 8-7).

Fig. 6 - Superficie di lavoro, a pendenza del 20-30 %, risultante dopo il lavoro di scarificazione e di sgombro con dozer (Merone).

La produzione è risultata così di un ordine di grandezza piuttosto ridotto, mentre notevoli sono apparse le sollecitazioni degli utensili; gravi gli inceppamenti dei trattori, anche se dotati delle massime potenze oggi disponibili; inadeguata complessivamente l'entità del lavoro speso ai risultati ottenuti. Poco migliori sono i risultati raggiunti con l'uso del preminaggio, inadatto alla creazione di una fessurazione di banchi potenti in frammenti di qualche decimetro di spigolo, salvo che con l'impiego di una distribuzione estremamente diffusa dell'esplosivo e con relativi consumi unitari poco inferiori a quelli delle coltivazioni classiche, così da impedire — all'attuale stadio della tecnica costruttiva dei trattori e degli utensili — una proficua utilizzazione dell'abbattimento meccanico.

Soddisfacente è invece apparsa la prestazione del ripper, sempre accoppiato ad un preminaggio sistematico, in una grande miniera a giorno di serpentina amiantifera, ove le potenzialità teoriche delle grandi macchine scarificatrici (300-600 t/h) sono state pienamente verificate.

3. *Caratteristiche generali di coltivazioni italiane di rocce coerenti per mezzo di ripper e determinazioni di proprietà fisiche delle rocce abbattute.*

Limitando necessariamente e volutamente l'interesse all'ambito del Nord Italia, è stato dato corso ad una sistematica serie di visite a varie coltivazioni, in cui l'abbattimento di rocce coerenti è effettuato in tutto od in parte per via meccanica, od in cui tale sistema di abbattimento è stato tentato con esiti insoddisfacenti o comunque proposto: in tale occasione è stato possibile raccogliere interessanti dati sulle attuazioni già avviate, sulle caratteristiche operative e sulle prestazioni delle macchine — congiunte o meno all'operazione di minaggio preventivo — sui saggi preliminari compiuti per una predeterminazione delle caratteristiche elastiche globali delle rocce interessate dagli scavi (velocità delle onde elastiche nei terreni di superficie interessati dallo scavo meccanico), sulle impressioni di esercizio — anche di carattere economico — dei vari tipi di macchine (1).

Una campagna di prelievi delle rocce nelle varie coltivazioni visitate ha poi consentito di condurre una sistematica serie di osservazioni e di misure di laboratorio sui campioni raccolti nelle singole zone (2).

Nell'impossibilità di discutere separatamente tutta la messe di dati attualmente a disposizione, si è preferito raccogliere sinteticamente dati ed osservazioni in due tabelle riassuntive.

La tab. 1 raccoglie i dati di esercizio delle coltivazioni, indicando — per ognuna di esse — località, esercente, caratteristiche geologiche delle formazioni interessate dagli scavi, caratteristiche petrografiche delle rocce prelevate sul terreno, produzione giornaliera di abbattuto, caratteristiche, consumi e disposizione in sito degli esplosivi impiegati per il preminaggio, potenza delle macchine scarificatrici, osservazioni generali d'esercizio.

La tabella 2, riferendosi in particolare alle varie formazioni interessate dagli scavi, riporta per i vari tipi di roccia dati di densità apparente, valori (massimi, minimi e medi) della velocità delle onde elastiche ricavati con misure sismografiche a rifrazione, risultati (massimi, minimi e medi) di misure con ascoltatore dinamico ultrasonoro, ricavati in sede di laboratorio — per mezzo di apparecchio Cawkell UCT 2 equipaggiato con trasduttori per 60 kHz — su un gran numero di campioni (oltre un centinaio), di forma irregolare, semplicemente sgrezzati su facce subparallele (tali da rappresentare [4] i valori delle velocità delle onde elastiche trasversali). Tutti questi dati numerici bene si inquadrano nei valori forniti dalla più recente letteratura scientifica [5].

Il coordinamento dei dati risultanti dalle indagini geosismiche in posto e dalle misure di velocità delle onde ultrasonore trasversali su singoli frammenti, in sede di laboratorio, è illustrato dalla fig. 7: da quest'ultima emerge una interessante concordanza ed univocità delle due serie di misure, quando sia limitata ai valori medi risultanti da un sufficiente numero di dati sperimentali.

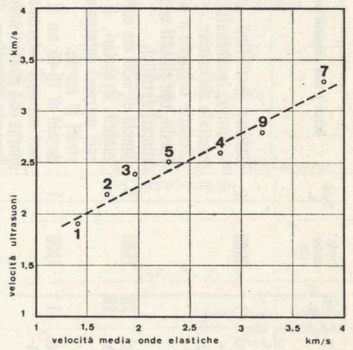


Fig. 7 - Correlazione tra i valori medi delle velocità delle onde sismiche nelle formazioni e delle onde ultrasonore (60 kHz) in campioni in frammenti.

La fig. 8 raccoglie le fotografie di alcune coltivazioni, interessanti per motivo di esercizio o per possibili connessioni con la morfologia delle formazioni interessate dagli scavi, nonchè di esempi della situazione di lavoro dei ripper; la fig. 9 riporta invece le microfotografie di alcune delle rocce abbattute, così da definirne sinteticamente la tessitura e la struttura, eventualmente rapportabili alle possibilità di abbattimento per via meccanica.

(1) Si desidera a tal riguardo ringraziare le Direzioni delle Società: Unione Cementi Marchino (Casale); Cementirossi (Piacenza); Cementeria di Merone (Milano); Italcementi (Bergamo); P.R.E.S.A. (Torino); S.P.E.S. (Torino); S.I.E.T. (Torino); Amiantifera di Balangero (Milano), per l'appoggio fornito ai viaggi di documentazione ed alla raccolta di dati e di informazioni. Ulteriore ringraziamento è dovuto alle Rappresentanze delle Ditte produttrici di trattori e di ripper, tra cui in particolare le seguenti: Trattori Caterpillar (Vercelli); C.I. F.A.M.-Euclid (Milano); Fiorentini-International (Roma); Allis-Chalmers (Cusano M.), per aver cortesemente posto a disposizione materiale illustrativo delle rispettive produzioni.

(2) L'attività di ricerca sulle caratteristiche meccaniche delle rocce è stata correlata agli studi in corso sin dall'anno 1960-61 presso l'Istituto di Arte Mineraria del Politecnico di Torino con il contributo finanziario del Consiglio Nazionale delle Ricerche, sul « Responso delle rocce alle sollecitazioni meccaniche », attualmente inquadrati nel gruppo di indagini sui « Problemi minerari ».

Tabella N. 1

CARATTERISTICHE GENERALI DI COLTIVAZIONI CON RIPPER

N.	Località e Provincia	COLTIVAZIONE: Ditta Esercente	Formazione coltivata e relativa età	Rif. fig. 6	Produzione t/d	Turni N.	ROCCE: Rocce e loro composizione	ELEMENTI DI ESERCIZIO: Preminaggio: Rif. Fig. 7	Potenza ripper CV	Esplosivo tipo	Consumo g/t medio	Consumo g/t max.	Disposizione fori da mina: Ø mm	Disposizione fori da mina: lungh. m	Disposizione fori da mina: dist. m	Osservazioni
1	MOLETO (Alessandria)	Unione Cementi Marchino	Marne e calcari arenacei fossiliferi (Miocene)	1	3000	2	Calcare fossilifero tenero e poroso, localmente ricementato da calcite. Arenarie calcaree a microfossili, con silicati ed idrosilicati detritici.	1A	385 (ex 235)	Cheddite 0 S	3	20	38	1,5-2,5		Preminaggio occasionale nei soli spuntoni di calcare poroso bianco (circa 10% della produzione), Scarificazione di tutta la produzione.
								1B								
2	USTIANO (Piacenza)	Cementirossi	Calcari marnosi e marne calcaree (Eocene)	2A 2B	1500	1	Banchi di 5-30 cm suborizzontali, irregolari, di calcari marnosi intercalati a strati di marne.	2	385 (ex 235)	Gelignite	4-5	30	38	2-3	—	Preminaggio occasionale nelle rocce calcareo-marnose tenaci. Scarificazione di tutta la produzione.
3	PERINO (Piacenza)	Cementirossi	Calcari marnosi e marne calcaree (Eocene)	3	1300	1	Banchi di 10-40 cm di calcari marnosi intercalati a marne ed a strati di arenarie. Arenarie quarzifere. Pend. media degli strati 30-40°.	3A	385 (ex 235)	Gelignite	8-10	30	38	2-3	—	Preminaggio occasionale nelle rocce calcareo-marnose tenaci. Scarificazione di tutta la produzione.
								3B								
4	MERONE (Como)	Cementeria di Merone	Calcari e calcari marnosi (Sopracretaceo)	4A 4B	3000	2	Calcare fossilifero e lievemente selcifero, compatto e microcristallino, grigio (85-90% di $CaCO_3$). Calcari marnosi compatti rossi. Spess. degli strati 10-30 cm; inclinaz. media 30-45°.	4A	325	Antonite	12-14	20	40	1,5-2	2-2,5	Preminaggio sistematico e scarificazione di circa 3/4 della produzione. Consumo medio di esplosivo in assenza di abbattimento con ripper: 85 g/t.
								4B								
5	CALUSCO D'ADDA (Bergamo)	Italcementi	Calcari e marne spesso silicee (Sopracretaceo)	5A 5B	3200	2	Calcari compatti in banchi sino a 5-8 m di potenza. Marne e calcari marnosi silicei in fitta ripetizione di strati di 5-20 cm di spessore. Pendenza da 40° a 85°.	5	325 420	Monferrite (c/GD1 MT)	—	40	40	2-3	2-3	Preminaggio e scarificazione dei banchi compatti in sola sede sperimentale. Scarificaz. senza preminagg. dei terr. di copertura e delle porz. superfic. di rocce marn. Cava in fase di organizzaz. Roccia probab. non scarific.
6	ROASCHIA (Cuneo)	PRESA S.p.A.	Calcare compatto (Giurese)	6	circa 1500	—	Calcare microcristallino (oltre 98% di $CaCO_3$) in banchi omogenei ed alquanto legati; pendenza 20-30°.	6	—	—	—	—	—	—	—	Preminaggio occasionale nelle rocce calcareo-marnose tenaci. Scarificazione di tutta la produzione.
7	COCCONATO (Asti)	S.P.E.S.	Formazione gessoso-solifera (Mio-pliocene)	7	500	1	Gesso cristallino o finemente cristallino in strati di 10-50 cm di spessore.	7	385	—	—	—	—	—	—	Prove sperimen. di scarific. con ripper a 3 denti senza preminaggio in zone lievemem. fessur. dalle preced. coltivaz. con esplosivo (Cheddite O Extra B).
8	RIOLO TERME (Ravenna)	SIET-ANIC	Formazione gessoso-solifera (Mio-pliocene)	8A 8B	3300	2	Gesso cristall. a cristallin. da minuta (infer. a 1 mm) a grossol. (magg. di 5 cm), in banchi dello spess. di molte decine di metri, con calcite microcrist. Pend. 20-25°.	8	385	Nitrato ammonico+olio combustibile (c/GDS)	80	—	—	—	—	Preminaggio in sede sperimentale, sia con grandi mine cilindriche, che con fitta dispersione nella massa.
9	BALANGERO (Torino)	Amiantifera di Balangero	Serpentina con vene di crisotilo (Massiccio Sesia-Lanzo)	9	oltre 5000	2	Serpentino feltrato con residui olivinici; magnetite diffusa; crisotilo.	9	2 x 385	Nitrato ammonico+nafta (c/Amatolo)	25	25	102	12	8	Preminaggio sistematico e scarificazione di tutta la produzione. Consumo medio di esplosivo in assenza di scarificazione: 85 g/t.

TABELLA N. 2

PROPRIETÀ FISICHE E MECCANICHE DELLE ROCCE E DELLE FORMAZIONI INTERESSATE DA SCAVI CON RIPPER

Coltivazione N.	Località	Velocità onde elastiche (rilievi sismici) nelle formazioni locali (km/s): massime	minime	valore medio	Velocità onde ultrasonore (60 kHz) in campioni di roccia (km/s): massime	minime	valore medio	Densità dei campioni	Osservazioni: sui campioni	sulla scarificazione
1	MOLETO	2,1	0,9	1,4	2,9	1,0	1,9	2,07-2,25 2,20-2,35	Calcare fossilifero Arenaria calcarea	Scarificazione difficile Scarificazione facile
2	USTIANO	1,9	1,5	1,7	3,1	1,5	2,2	2,53-2,57 2,44-2,48	Calcare marnoso lastroide Marna grigia	Scarificazione con premin. Scarificazione facile
3	PERINO	2,1	1,5	1,95	3,4	1,6	2,4	2,48-2,55 2,40-2,44	Calcare marnoso grigio Marne ed arenarie	Scarificazione con premin. Scarificazione facile
4	MERONE	3,6	2,7	2,8	3,4	1,1	2,6	2,54-2,55 2,50-2,53	Calcare rosso Calcare marnoso poco alterato	Scarificazione soddisfacente con preminaggio
5	CALUSCO D'ADDA	2,4	1,8	2,3	4,2	1,0	2,5	2,60-2,63 2,58-2,60	Calcare e marna silicea Marna e calcare marn. rosso	Scarificazione difficile Scarificazione sperimentale
6	ROASCHIA	—	—	—	3,7	2,2	3,3	2,63-2,67	Calcare compatto	Scarificazione problematica
7	COCCONATO	5,3	3,0	3,8	3,8	2,0	3,3	2,20-2,22 2,10-2,15	Gesso finemente cristallino Gesso macrocristallino	Scarificazione difficoltosa, con formazione di fini
8	RIOLO TERME	—	—	—	2,8	1,0	2,5	2,20-2,26 2,26-2,32	Gesso finemente cristallino Gesso macrocristallino	Scarificazione non soddisfacente
9	BALANGERO	3,6	1,2	3,2	4,0	2,4	2,8	2,69-2,75	Serpentina amiantifera	Scarificazione soddisfacente con preminaggio

4. *Produzioni unitarie e costi di abbattimento con ripper, in rapporto con le proprietà elastiche delle formazioni.*

Per elaborazione di abachi forniti da Ditte costruttrici di trattori muniti di appendice scarificatrice [6] e per riscontro con l'attuale situazione delle coltivazioni italiane, si sono ricavate le caratteristiche delle prestazioni di ripper di varia potenza, illustrate dalla fig. 10. Questa figura, che determina le produzioni orarie di differenti macchine ed il costo unitario della tonnellata di roccia abbattuta ed ammucchiata con la lama dozer di cui sono muniti i trattori — ammettendo che il tempo di sgombero sia mediamente pari a 3 volte quello di scarificazione — riporta sinteticamente le proprietà delle rocce, come caratterizzate dalla velocità delle onde elastiche, misurata con metodi geosismici a rifrazione nell'ambito dei banchi da scarificare [3].

Infatti le indagini preliminari sul terreno, allo scopo di identificarne il presumibile comportamento sotto l'azione della scarificazione, effettuate con tal tipo di rilievi in buona parte delle coltivazioni esaminate, hanno riscontrato che — come risulta anche dalle correlazioni possibili nella tab. N. 2 — la velocità delle onde elastiche appare soddisfacentemente assumibile come espressione globale della difficoltà di abbattimento delle singole formazioni per mezzo di utensili scarificatori. L'ordinamento dei valori della predetta velocità può servire

[3] La determinazione è correntemente compiuta impartendo un impulso al terreno con una mazza battente e registrando i tempi di propagazione delle onde elastiche sino a punti equidistanti di circa 3 metri, lungo allineamenti di qualche decina di metri: la profondità d'indagine risulta dell'ordine di una quindicina di metri [6].

TAB. N. 3.

Rocce	Limiti delle velocità delle onde elastiche (km/s): scarificazione indiscussa	scarificazione possibile
Rocce magmatiche (graniti, dioriti lastroidi, basalti) Gneiss, Quarziti	1,5	1,95
Scisti, Ardesie	1,8	2,55
Arenarie, Argille	1,95	2,7
Calcari, Conglomerati, Rocce metamorfiche, Minerali ferriferi	1,5	2,25
Carbone	1,8	2,4

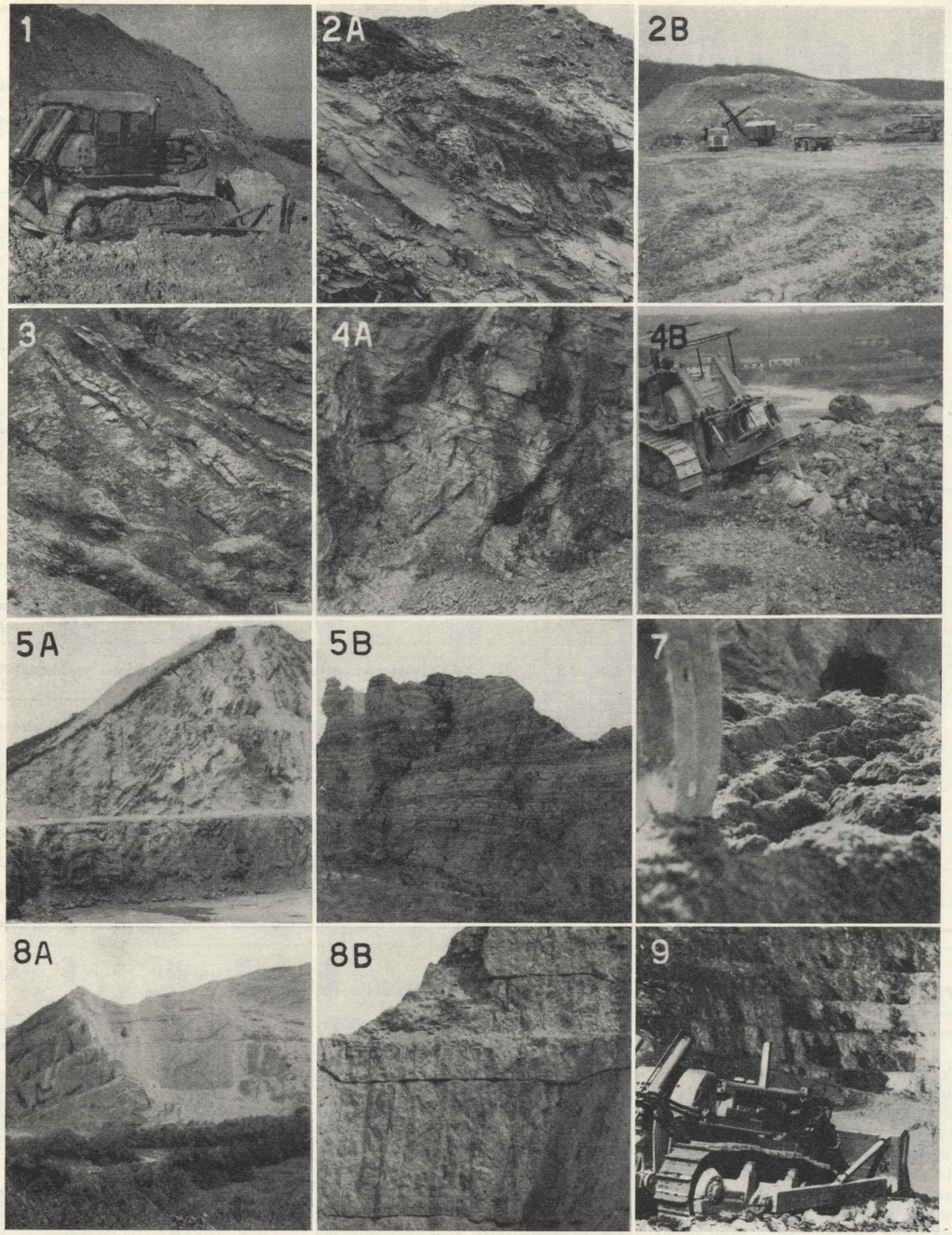


Fig. 8 - Formazioni interessate dall'abbattimento con ripper e situazioni particolari di lavoro. 1: Cava di calcare di Moleto; 2A: Banchi di calcari marnosi intercalati a marne eoceniche ad Ustiano; 2B: Ripper al lavoro sul piazzale di cava di Ustiano; 3: Banchi calcareo-marnosi e marnosi eocenici a Perino; 4A: Fitta ripetizione di strati calcarei sopracretacici a Merone; 4B: Ripper al lavoro sul piazzale di cava di Merone; 5A: Sezione della formazione sopracretacica a Monte Giglio (Calusco d'Adda); 5B: Banchi calcareo-marnosi sottoposti allo scavo con ripper senza preminaggio a Calusco d'Adda; 7: Risultati dell'opera di scarificazione nella cava di pietra da gesso mio-pliocenica di Cocconato; 8A: Vista della cava di pietra da gesso di Riolo Terme, con fronte a gradini; 8B: Banchi compatti di pietra da gesso, spessi sino a 40 metri, a Riolo Terme; 9: Trattore al lavoro nella miniera a giorno di serpentina amiantifera di Balangero.

di base per stabilire una « scala di scarificabilità » delle rocce, già utilizzata correntemente dai produttori di trattori, che indica in linea di massima i limiti delle velocità di propagazione delle onde elastiche negli strati superficiali entro cui l'abbattimento con ripper è certamente applicabile ovvero possibile in casi particolari od in seguito a preminaggio (vedasi la tab. N. 3).

Il metodo d'indagine sismica adottato consente d'altra parte di rilevare pure l'effetto di un preminaggio, capace di disturbare e di introdurre soluzioni di continuità nel massiccio in posto e con-

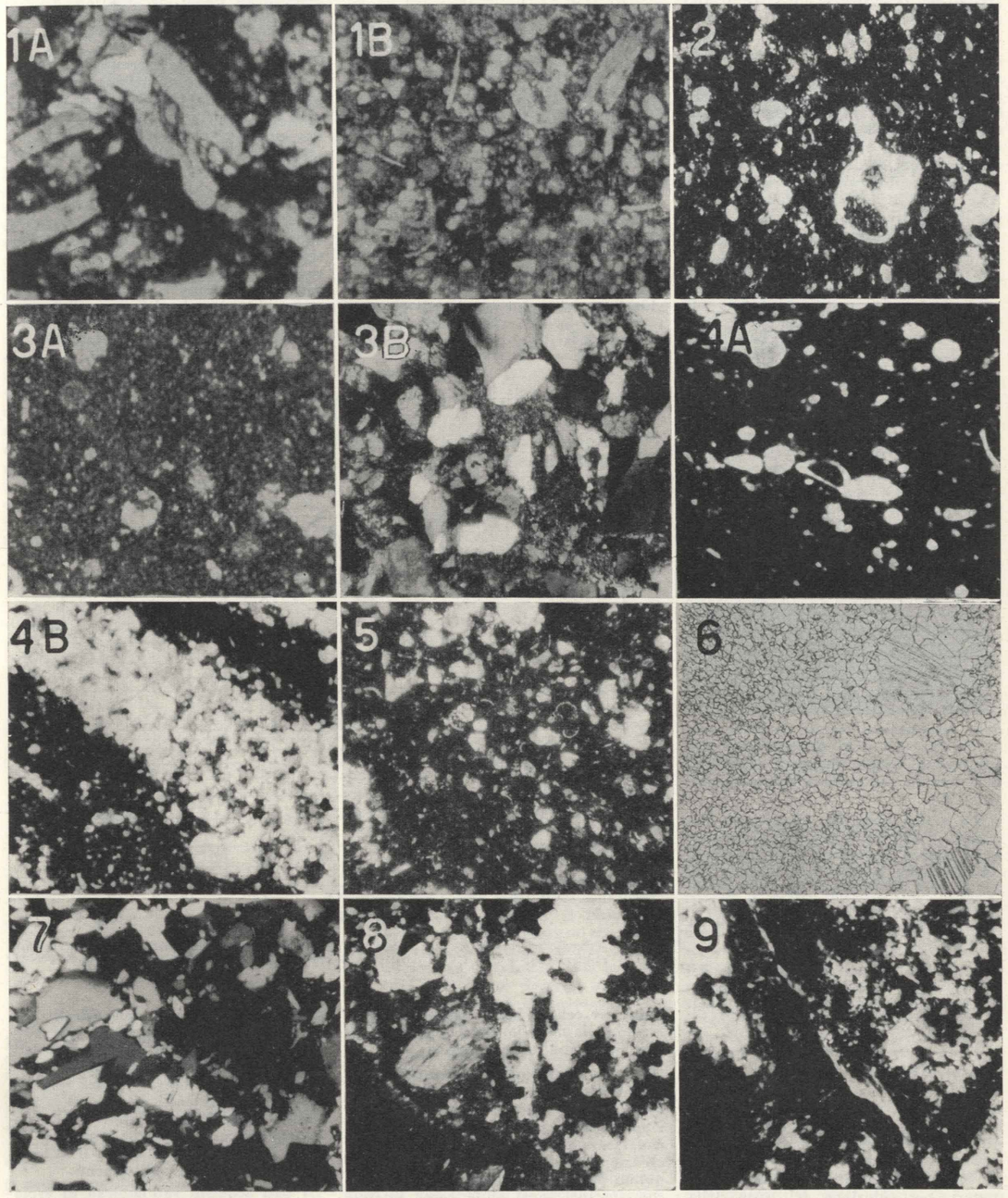


Fig. 9 - Microfotografie di sezioni sottili di varie rocce interessate dall'abbattimento con ripper (50 ingrandimenti; nicols paralleli od incrociati). 1A: Calcare miocenico di Moleto; 1B: Arenaria a microfossili di Moleto; 2: Calcare marnoso eocenico di Ustiano; 3A: Calcare marnoso eocenico di Perino; 3B: Intercalazione di arenaria quarzifera di Perino; 4A: Calcare sopracretacico di Merone; 4B: Vena calcitica in calcare marnoso di Merone; 5: Calcare marnoso sopracretacico di Calusco d'Adda; 6: Calcare microcristallino giurese di Roaschia; 7: Gesso finemente cristallino mio-pliocenico di Cocconato; 8, Gesso finemente cristallino con calcite microcristallina (Mio-pliocene) di Riolo Terme; 9: Serpentina amiantifera (a crisotilo, con residui olivinici e segregazioni di magnetite) del massiccio Sesia-Lanzo di Balangero.

seguentemente di ritardare la velocità di propagazione delle onde elastiche. Il valore limite di « rippabilità », citato come corrispondente a circa 1,7-2,0 km/s per trattori di circa 380 CV, dopo una azione di preminaggio, è stato in generale verificato nelle cave oggetto di esame.

Per la determinazione degli elementi di produzione e di costo unitario illustrati dalla fig. 10 — oltre che delle osservazioni compiute nelle coltivazioni in discussione, laddove il ripper lavorava con continuità ed in piene condizioni di utilizzazione — si è tenuto conto delle considerazioni seguenti, utili per l'interpretazione dei dati di esercizio vigenti in America ed il loro trasferimento nelle condizioni attuali in Italia:

a) le rocce a cui ci si intende riferire hanno un peso specifico medio in posto di circa 2,5;

b) l'incidenza della manodopera sui costi di esercizio è circa doppia negli U.S.A. che in Italia;

c) l'onere per costo capitali è incrementato del 30 % circa, per tener conto dell'aumento dei prezzi negli ultimi anni e dell'incidenza del trasporto e delle spese doganali relative al macchinario non costruibile in Italia;

d) la manutenzione è caricata con un peso inferiore a quello presunto dalle Ditte costruttrici (che suppongono un costo totale della manutenzione di una macchina pari al 90-100 % del costo originario della medesima);

e) la ripartizione del costo del capitale è stata compiuta su 10.000 anzichè su 8.000 ore di funzionamento, in base alle prestazioni già ottenute dai trattori in terreni relativamente difficili in Italia.

Pertanto, data la prevalenza del fattore *c*) sul complesso degli altri termini del costo unitario, ed anche sulla scorta delle informazioni fornite da Ditte esercenti italiane, è stato globalmente e sinteticamente assunto un tasso di cambio di 8 Lire it. per ogni centesimo di dollaro USA.

Dai grafici della fig. 10, ricavati per trattori di 235 CV e 385 CV, e per analoghi trattori accoppiati (« in tandem », sinteticamente indicati con le sigle 470 CV e 770 CV), risultano gli ulteriori interessanti dati medi, relativi alle caratteristiche operative delle macchine di varia potenza:

1) limite teorico di applicabilità dei trattori delle varie potenze, corrispondenti a produzioni orarie di 200 tonnellate circa:

Potenza, CV	235	385	470	770
Velocità delle onde elastiche, km/s	1,65	1,95	2,4	3,1

2) limite tecnico di applicabilità dei trattori, per riduzione del costo della tonnellata abbattuta ed ammucchiata sotto alla cifra di 40-60 Lire, corrispondente mediamente allo scavo ed allo sgombero con esplosivi nelle più favorevoli loro condizioni di applicazione ed utilizzando esplosivi particolarmente economici (quali le miscele di nitrati e di olio combustibile):

Potenza, CV	235	385	470	770
Costo limite, L/t	40	50	55	60
Velocità delle onde elastiche, km/s	1,35	1,65	1,9	2,35
Produzione, t/h	400	400	500	600

Quanto così discusso deve ulteriormente essere modificato quando:

1) non si tratti di trattori di grande potenza accoppiati in tandem, ma di macchine singole: in questo caso infatti si potrà raggiungere un incremento del 10-20 % nella produzione oraria di una singola macchina, per maggiore mobilità e riduzione dei tempi morti e di ritorno; nel contempo il costo unitario dell'abbattuto potrà ritenersi ridotto di qualche

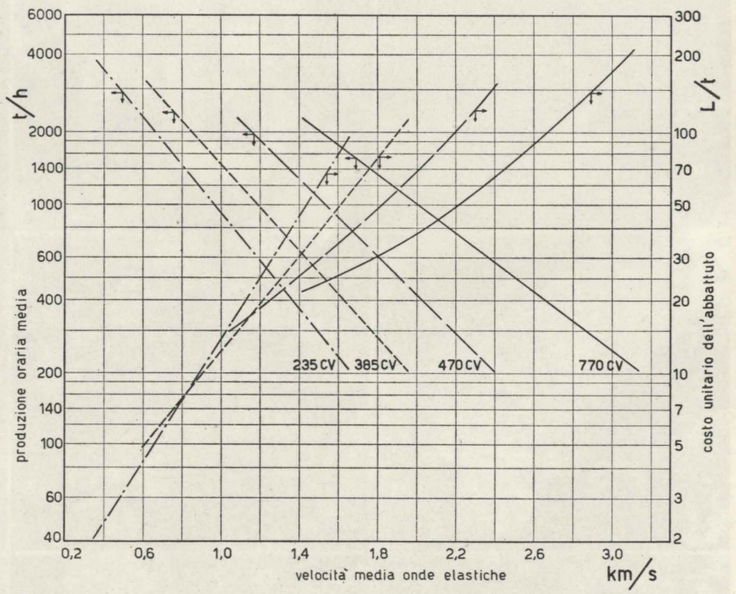


Fig. 10 - Produzioni orarie e costi unitari dell'abbattuto per ripper trainati da trattori di varia potenza (235 e 385 CV) e da coppie di trattori (235 e 385 CV) « in tandem ».

unità per cento (5-8 %) per il dimezzamento della manodopera impegnata a parità di potenza della macchina;

2) si adotti un conveniente preminaggio delle rocce: un confronto tra l'abbattimento tradizionale e quello con ripper è allora possibile solo in base alla conoscenza del responso delle varie rocce all'azione degli esplosivi. Determinati quindi per via induttiva o — meglio — con specifici saggi sulle rocce interessate i consumi di esplosivo necessari per la creazione di una conveniente fessurazione della roccia in loco, è possibile risalire ai costi relativi, inclusa la perforazione, da sommare ai costi di scarificazione nelle nuove condizioni in cui la roccia è stata portata, per un eventuale confronto con gli oneri connessi con l'abbattimento con i metodi tradizionali.

5. *L'utilizzazione degli esplosivi congiuntamente alla scarificazione.*

L'utilizzazione del preminaggio, diffuso nelle coltivazioni italiane in proporzioni più elevate che altrove, è risultato utile e di facile applicazione. Per una sua migliore riuscita esso deve però essere effettuato nel modo più sistematico possibile: in caso contrario può rendere antieconomica l'organizzazione generale della scarificazione.

Cosicchè lo scavo con mezzi meccanici aiutato da esplosivi può risultare inadatti in tutti i casi in cui le proprietà meccaniche delle rocce siano notevolmente variabili da punto a punto, sia in rapporto ad intrinseche differenze di composizione dei banchi scarificati, sia in base alla relativa tessitura (ad esempio, nel caso di stratificazioni subverticali), ovvero laddove sarebbe richiesta una coltivazione selettiva dei banchi asportati, senza possibilità di miscelazione del prodotto escavato a brevi distanze relative: non sussiste evidentemente allora la possibilità di applicare il ripper nelle condizioni più favorevoli, che implicano l'azione per passate orizzontali e la creazione di successivi splateamenti.

I dati acquisiti sull'impiego di esplosivi per il « preminaggio » delle rocce — con particolare riferimento alle rocce calcaree ed a quelle serpentinose compatte — confermano la necessità dell'uso di una dislocazione primaria delle rocce

quando la velocità media di propagazione delle onde elastiche nelle formazioni interessate superi i valori seguenti: 1,6-1,8 km/s per ripper connessi con trattori da circa 380 CV; 1,3-1,4 km/s con trattori da circa 320 CV. I trattori muniti di appendice scarificatrice, dotati di potenze dell'ordine di 230 CV — adottati oggi soltanto per lavori di scopertura — dànno prestazioni soddisfacenti soltanto quando operino su rocce in cui le velocità delle onde elastiche siano inferiori a circa 1,0-1,2 km/s. Ciò giustifica da una parte le aspettative per nuovi trattori di grande potenza, per le cui prestazioni qualche illazione si può già ottenere dall'esame del funzionamento accoppiato di ripper mossi da 2 trattori « in tandem »: comunque è da ritenersi che un trattore di potenza maggiore di 700 CV consenta di pervenire direttamente alla scarificazione di rocce in cui le onde elastiche si propaghino con velocità anche maggiori di 2,5 km/s.

Per trattori di circa 350 CV, di cui si potè rintracciare la maggior quantità di esempi a disposizione, si è tradotto in un piano quotato — in funzione della velocità media di propagazione delle onde elastiche nelle formazioni sane — lo sciame dei punti che indicano il consumo medio di esplosivo per il preminaggio in alcune cave di roccia (sempre con i riferimenti numerici della tab. 1), necessario per riportare la roccia sconnessa in un campo di facile abbattimento con ripper (v. fig. 11).

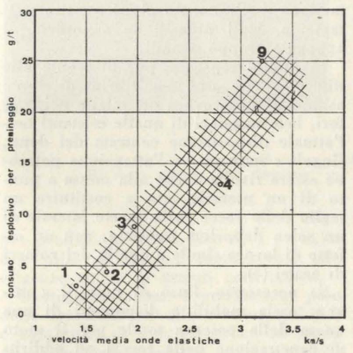


Fig. 11 - Consumi medi di esplosivo per preminaggio, in funzione della velocità media delle onde elastiche (rilievi sismici) nelle rocce indisturbate.

Pur di fronte al ridotto numero di punti sperimentali ed alla varietà di esplosivi utilizzati in queste coltivazioni, si constata una certa correlazione tra i due parametri, la cui espressione analitica media potrebbe tradursi nella relazione:

$$q = 12\ V - 16,$$

ove:

q rappresenta il consumo medio di esplosivo, in grammi per tonnellata di roccia abbattuta;

V rappresenta la velocità media delle onde elastiche nella formazione da scarificare, in km/s.

6. *Conclusioni: possibilità applicative dell'abbattimento meccanico con ripper.*

Le conclusioni che oggi si possono trarre in merito all'applicazione dei ripper — sulla base dell'esperienza condotta soprattutto nell'ultimo quinquennio in Italia per l'abbattimento di rocce coerenti ed in conseguenza delle osservazioni di esercizio prospettate dalle coltivazioni visitate — sono le seguenti:

a) La velocità di lavoro delle macchine è stata in generale riscontrata compresa tra 0,5 ed 1 m/s. È ovvio che l'introduzione del « power-shift » in tutti i trattori di grande potenza consente automaticamente l'utilizzazione delle più convenienti velocità di avanzamento delle macchine, mentre in linea di massima è auspicabile che i trattori vengano dotati di una prima marcia sufficientemente ridotta, così da poter funzionare nelle rocce più difficili con un'utilizzazione piena della potenza massima, senza elevate perdite nella trasmissione idraulica. Tale velocità — sufficiente già ad ottenere le massime produzioni necessarie per le più grandi cave italiane entro il periodo massimo di due turni di lavoro — è situata attorno a 0,3-0,4 m/s; la corrispondente produzione istantanea risulta di circa 200 kg/s di roccia, equivalente ad una produzione media oraria di 200-500 t/h, in fase di sola scarificazione.

b) Per quel che riguarda il modo di lavoro del ripper sul terreno, risulta in linea di massima conveniente, ovunque possibile, l'effettuazione di percorsi paralleli, a distanze relative di 0,5-1 m, senza compiere lavori di scarificazione in direzione ortogonale alla direzione principale di lavoro. Quest'ultima può raggiungere lunghezze dell'ordine di qualche decina di metri, mentre il lavoro di sgombro e di ammassamento dell'abbattuto — meglio se fatto tracimare dal bordo di uno o più gradini di modesta altezza — è bene sia effettuato in direzione perpendicolare alla precedente. Solo nei casi in cui si riscontri una marcata irregolarità del fondo roccioso in seguito all'opera del ripper, con formazione di solchi subparalleli, può essere accettata un'organizzazione di lavoro di sgombero che comporti il lavoro del dozer parallelamente ai solchi stessi, per evitare irregolarità nella marcia del trattore: in questa evenienza il lavoro di sgombero è compiuto peraltro meno razionalmente, comportando grandi sviluppi nel trasporto orizzontale. Una particolare cura deve essere riservata alla conservazione in posto di un cuscino di materiale abbattuto, dello spessore di qualche decimetro (20-40 cm, a seconda dell'irregolarità del fondo roccioso), così da garantire, in una con il migliore e più uniforme appoggio dei cingoli, la salvaguardia della lama dozer durante il suo lavoro.

Mentre le distanze massime di lavoro dei dozer sono dell'ordine di 40-50 metri, uno sgombero a distanze medie maggiori di una trentina di metri dovrebbe invece essere più convenientemente condotto con scraper, di cui mancano peraltro esempi di applicazione nelle coltivazioni del Nord Italia. Essi consentono una raccolta ed una concentrazione dell'abbattuto su vaste aree, in un solo punto di successivo caricamento. Anzi gli scraper — che consta siano largamente applicati nelle coltivazioni a giorno in America — permettono di compiere contemporaneamente allo sgombero anche l'operazione di caricamento sui mezzi trasportatori principali, per mezzo di opportuni piani inclinati di sollevamento del grezzo.

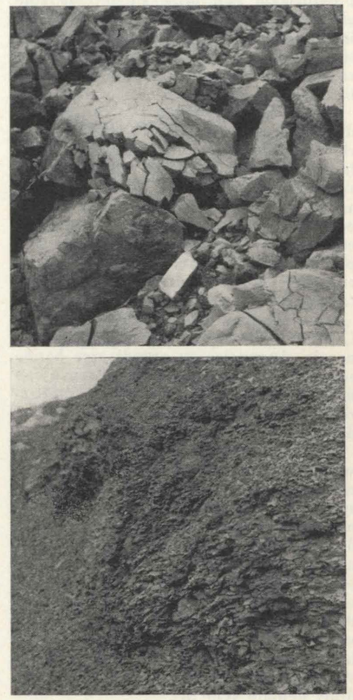


Fig. 12 - Frammentazione naturale di blocchi abbattuti e della roccia in posto per azione degli agenti atmosferici (calcari marnosi eocenici di Perino e di Ustiano - Piacenza).

c) Un effetto secondario da non trascurare, connesso con la scarificazione, è quello conseguente al diverso comportamento delle rocce abbattute con ripper rispetto a quelle coltivate con esplosivi, in funzione dell'azione dell'umidità, ben diversa nei due casi sulle rocce che presentano una certa tendenza alla plastificazione in seguito all'impregnazione da parte dell'acqua, e che può avere riflessi sul comportamento dei mezzi meccanici cingolati ed anche sulle prestazioni dell'eventuale successivo ciclo di comminuzione dell'abbattuto.

In particolare, in rocce porose facilmente plastificabili (come nei calcari marnosi terziari di Moleto) l'umidità del terreno può notevolmente intralciare il lavoro del ripper, per difficoltà di marcia dei trattori cingolati; anche quando questa difficoltà sia superata, l'azione di sommuovimento della roccia da parte dell'utensile è resa problematica dalla plasticità del terreno, in cui il dente affonda senza scardinare i blocchi adiacenti, con una vera e propria azione di taglio. Occorre così infittire ed avvici-

nare le passate, riducendo proporzionalmente la produzione unitaria delle macchine.

Altrove (cava di Merone) nei prodotti di abbattimento di grandi volate, soggetti all'inclemenza delle piogge, si determinava l'impossibilità di un facile caricamento ed il bloccaggio dei frantumatori per impastamento della roccia plastificata. Con l'uso di ripper (e con preminaggio con mine di piccola lunghezza e diametro) le rocce relativamente impermeabili in sito poterono invece sempre essere escavate ed utilizzate, se caricate giornalmente, subito dopo l'abbattimento.

In una serie di cave per la coltivazione di calcari marnosi eocenici (Ustiano, Perino) fu possibile anche usufruire della fratturazione della roccia, esente da plastificazione, in seguito all'azione degli agenti atmosferici a cui i grandi blocchi ed il massiccio in posto furono lasciati esposti, per facilitare la scarificazione o per limitare od annullare il lavoro di abbattimento secondario con petardi (v. fig. 12).

Ulteriormente, in altre cave (cave di Calusco e di Riolo), tentativi di preminaggio sistematico su grandi aree hanno resa difficoltosa l'operazione di scavo con mezzi meccanici, in seguito ad infiltrazioni di acque nel massiccio lievemente dislocato.

È logico quindi che il preminaggio su grandi aree dovrebbe essere limitato ed escluso in tutti i casi in cui l'effetto secondario dell'umidità possa compromettere in determinate stagioni il lavoro di scavo. Quanto alle difficoltà di frantumazione dei prodotti eventualmente resi plastici dall'acqua — premesso che nei terreni argillosi un'azione di prima pulitura superficiale può facilmente eliminare gli strati impregnati — esse potrebbero essere superate con l'adozione di macchine opportune (ad esempio, cilindraie dentate veloci).

7. *Evoluzione e prevedibili sviluppi della tecnica di scarificazione delle rocce.*

In rapporto all'evoluzione della tecnica della scarificazione valgono ulteriormente le osservazioni seguenti:

a) I ripper sono macchine di introduzione così recente ed in fase di sviluppo così rapido, che notevoli esperienze sono tuttora necessarie per metterne a punto gli elementi costruttivi più importanti. In linea di massima, essi spesso dànno l'impressione di lavorare in un campo di sollecitazioni delle strutture troppo elevate, così che una riduzione dei tempi e delle spese di manutenzione è da ricercarsi con un aumento dei pesi e della robustezza delle parti, piuttosto che con l'incremento della potenza immessa nella singola macchina. Il perfezionamento delle parti meccaniche e degli accessori dovrebbe consentire una estensione della loro applicazione in quei casi in cui il relativo impiego è stato escluso in seguito ad un breve periodo di prova, con insoddisfacenti risultati soltanto per quanto concerneva i difetti di esercizio.

b) D'altra parte le Ditte esercenti cave e coltivazioni a giorno non sono spesso in grado di compiere la più idonea analisi delle prestazioni di queste macchine durante la fase di regolare condotta della produzione, cosicchè si è avuto modo di constatare che in qualche caso hanno dovuto escludere la loro applicazione dopo un periodo di prova relativamente breve. Il passaggio definitivo da una coltivazione con esplosivi a quella con mezzi meccanici o promiscua non può essere che graduale, dopo raggiunto un orizzonte profondo, che presenti integre ed indisturbate le caratteristiche meccaniche delle rocce e ne consenta una piena valutazione, al di fuori di zone alterate o fessurate od indirettamente interessate dai disturbi provocati dall'uso di esplosivi nelle coltri sovrastanti. Spesso soltanto con approfondimenti dell'ordine di qualche metro su aree relativamente grandi è possibile raggiungere queste coltri ed iniziare i saggi sistematici per la determinazione delle migliori condizioni di lavoro.

Queste prove non possono d'altra parte essere lasciate alla tutela di tecnici di cava, pressati da esigenze di produzione, ma dovrebbero essere condotte dai costruttori delle macchine e coordinate in modo unitario, sulla base di tutta la pratica acquisita in casi similari ed in una serie di coltivazioni affini.

È logico che sotto questo punto di vista semplici misure sismografiche delle proprietà delle rocce debbano passare in secondo piano, mentre assumono soltanto un significato orientativo per un primo giudizio sommario, ma non possono fornire risultati sulle possibilità di miglioramento dell'esercizio.

c) L'utensile scarificatore è la porzione della macchina già soggetta a disparate realizzazioni particolari (v. figura 13), anche in rapporto alle possibilità di rottura (v. fig. 14) ed al prolungamento della relativa vita, per la riduzione del notevole elemento di costo di esercizio che i ricambi delle punte comportano. D'altra parte l'utensile è ancor oggi sottoponibile a proficue modifiche (v. fig. 15), per un completo adattamento alla roccia da abbattere ed alla relativa tessitura; all'utensile deve pertanto essere indirizzata la maggior attenzione, nella ricerca di una possibilità di estensione dell'applicazione di queste macchine, in rapporto alle caratteristiche delle singole rocce.

In particolare, per le rocce anelastiche (ad esempio, per i gessi) è sentita l'esigenza di una modifica degli utensili attuali, che debbono poter eseguire se necessario anche un'operazione di taglio e di fessurazione locale della roccia, prima di completarne il distacco.

Utensili speciali debbono essere messi a punto, lavoranti su una superficie limitata, ma continua, per poter distaccare dalla sede naturale queste rocce, evitandone il rifluimento plastico e l'impuntamento degli utensili su superficie di appoggio troppo grandi.

In questo senso — pur di fronte alle difficoltà che uno squilibrio di forze asimmetriche provoca nei telai e nei trattori, ben maggiori di quelle esistenti nell'attuale disposizione centrata dei denti, singoli e multipli — l'attenzione potrebbe essere rivolta anche alla messa a punto di un utensile atto a costituire un taglio delle rocce sulla parete laterale di un solco dapprima tracciato, con un effetto di lavoro simile a quello dei vomeri di aratri (4).

Se necessario, l'uso di utensili « attivi », ossia mobili e disponenti di una quota della potenza totale per il moto di penetrazione nella roccia od addirittura per la sua demolizione locale, per analogia con analoghe realizzazioni nelle piallatrici, potrebbe migliorare l'utilizzazione della grande quantità di energia complessivamente disponibile nelle macchine attuali.

È infatti pensabile la possibilità di ottenere tecnicamente un rendimento globale delle trasmissioni meccaniche e della trasformazione del lavoro meccanico in lavoro di demolizione della roccia

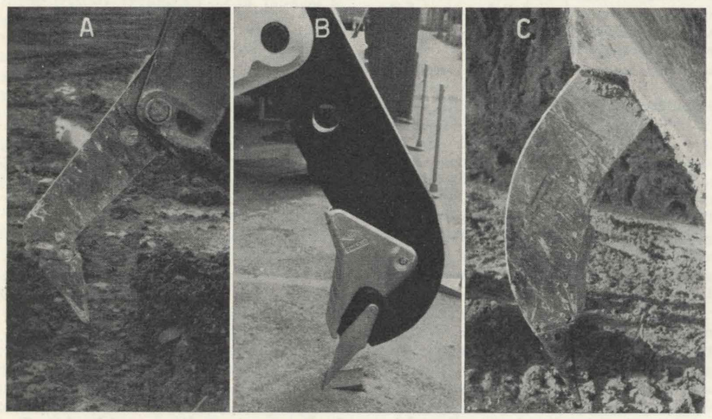


Fig. 13 - Differenti realizzazioni di utensili scarificatori. A: Caterpillar D 9; B: Euclid TC 12; C: Kelley-Caterpillar D 9.

(4) È peraltro logico che la morfologia di cosiffatti scavi implichi la necessità di lavoro dei trattori con appoggi dei due cingoli su rocce di diversa consistenza (sana, da un lato, e scarificata od in genere smossa dall'altro): la difficoltà conseguente per una marcia regolare potrebbe essere risolta con il completo svincolo del telaio, con sospensioni indipendenti per le sue due metà, con qualche analogia rispetto ad una realizzazione di grande modello di trattore, recentemente prodotto da una Casa americana (Euclid, TC 12).

dell'ordine dell'1 %. In questo caso, un motore di 300 CV, di cui circa 200 riservati al distacco della roccia, deve essere in grado di trasmettere alla roccia la potenza dell'ordine di 100 kgm/s che — sia secondo i concetti della comminuzione, sia per paragone con il lavoro degli esplosivi (a cui analogamente si può attribuire nelle condizioni peggiori un « rendimento globale » agli effetti del distacco e della frantumazione della roccia dell'1 %: con questa ipotesi gli esplosivi di uso corrente impartirebbero infatti alle rocce energie specifiche dell'ordine di 100 kgm/t) — dovrebbe consentire produzioni dell'ordine di 1 t/s nella fase utile di lavoro, commisurate alle esigenze anche di grandi coltivazioni.

Conseguentemente, soprattutto al peso delle macchine ed alla relativa stabilità e continuità di movimento ed al modo di azione degli utensili i costruttori debbono porre attenzione, piuttosto che all'ulteriore aumento della potenza delle singole macchine, secondo una tendenza oggi apparsa, giustificata solo da produzioni di carattere assolutamente eccezionale.

d) Un completo studio sull'applicabilità dell'abbattimento a singoli casi particolari potrebbe così estendere ancora i vantaggi economici che in molti casi già sono stati riscontrati durante esercizi dell'ordine di 10.000 ore (pari all'intera vita presunta di un trattore) per grandi macchine, e che si traducono in economie comprese tra il 25 % ed il 50 % sul costo dell'abbattimento e dello sgombero. Si possono infatti citare casi italiani di riduzione di costi da circa 110 L/t (abbattimento con esplosivi) a circa 60 L/t (abbattimento con ripper) per cave di calcari marnosi (con produzioni di circa 1.000 tonnellate per turno) e da circa 70 a circa 55 L/t per coltivazioni di rocce calcaree o scisti cristallini (con produzioni di circa 3.000 t/12 ore): in entrambi i casi si trattava dell'utilizzazione di una sola grande macchina.

Al tempo stesso, valori medi tra quelli citati da una Ditta produttrice di trattori per coltivazioni americane, tradotti in moneta nazionale, indicherebbero una possibile riduzione dei costi di abbattimento e sgombero da circa 70 a circa 30 L/t, per rocce coerenti varie, quando l'ingente capitale impegnato dai trattori e dai ripper sia rapidamente ammortizzato su ingenti produzioni.

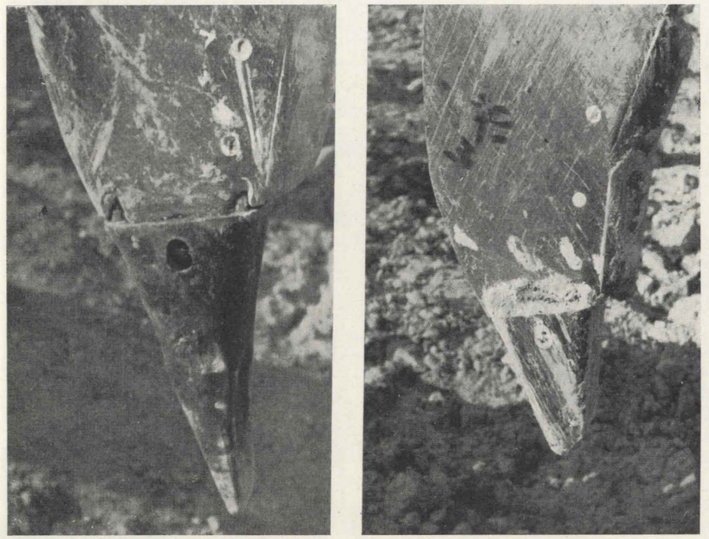


Fig. 14 - Punta di utensile scarificatore (Kelley, per trattori Caterpillar D 9): A) nuova; B) dopo rottura alla flessione, per impuntamento in banchi resistenti.

Qualche risparmio nelle spese di esercizio è inoltre possibile sia con l'adozione di un'accurata manutenzione preventiva (si è riscontrata la possibilità di ridurre in rocce calcaree facilmente scarificabili il costo globale dei ricambi di una macchina dal 90 % al 35-40 % del valore della stessa), con la fusione od il riporto in posto delle scarpette degli utensili e con la scelta di personale dotato di particolare sensibilità al funzionamento dei motori diesel molto potenti. Una possibilità di introduzione nell'uso di motori diesel-elettrici, notoriamente meno onerosi nella manutenzione, non deve essere ulteriormente trascurata.

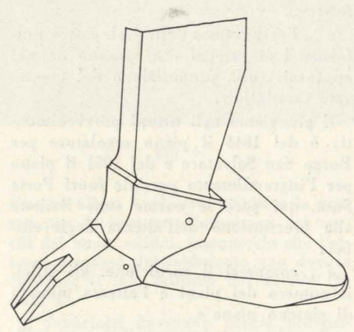


Fig. 15 - Utensile scarificatore speciale (GarWood; Ateco), con aletta tagliente e sollevatrice dei banchi da abbattere.

Raggiunta una certa maturità e stabilità della tecnica costruttiva, è probabile che di conseguenza possano essere ulteriormente valorizzati anche nel campo della scarificazione gli indubbi vantaggi dell'abbattimento delle rocce con mezzi meccanici, che sinteticamente si possono riassumere nell'elenco seguente:

1) pezzatura più uniforme e ridotta dell'abbattuto rispetto alle coltivazioni con esplosivo, anche per un effetto secondario di frantumazione sotto ai cingoli;

2) produzione costante nel tempo;

3) relativa indipendenza dagli agenti atmosferici;

4) utilizzazione di una ridotta quantità di manodopera (1-2 uomini, contro i 3-5 impiegati a pari prestazioni nelle coltivazioni tradizionali);

5) sicurezza notevole nei riguardi della manodopera (riduzione dei rischi di manipolazione degli esplosivi; eliminazione dell'operazione di disgaggio, ecc.);

6) possibilità di utilizzazione degli stessi trattori dotati di ripper anche per lavori secondari (scopertura), per trasporto di manufatti, ecc.;

7) possibilità di abbattimento delle rocce senza particolari cautele anche presso le costruzioni civili ed i centri abitati;

8) assenza di vibrazioni dei terreni e di lancio di detriti in seguito alle esplosioni.

Enea Occella

Torino, Istituto di Arte Mineraria del Politecnico, 15 maggio 1964.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] Evans, I., *Theoretical aspects of coal ploughing*, in *Mechanical properties of non-metallic brittle materials*, Butterworths sc. publ., London, 1958, pag. 451.

[2] Berrino, G., *Possibilità d'impiego dei grandi trattori cingolati nelle coltivazioni a giorno*, in corso di pubblicazione su « Trasporti Industriali », Milano, n. 63, 1964.

[3] Occella, E., *Caratteristiche di stabilità dei cantieri sotterranei nelle coltivazioni di « pietra di gesso » dell'Astigiano*, « L'Ind. Mineraria », Roma, 9, 9-10, 1958, pagg. 525 e 599.

[4] Rutheford, H. E. e Lucas, J. R., *Evaluation of specific rock properties by ultrasonic properties*, Annual Meeting of AIMMPE, New York, 18-22/2/1962. Pre-print AIME, n. 62F 27.

[5] Heiland, C. A., *Geophysical exploration*, Hafner Publ. Co., New York, 1963, pagg. 81, 467 e segg.

[6] Handbook of Ripping, *Caterpillar tractors Co*, Peoria (Ill.); 1961, pag. 7-7.

P R O B L E M I

Provvedimenti e regolamenti edilizi in Torino

GIUSEPPE BOFFA traccia in sintesi, con brevissimo commento, la storia dei Provvedimenti e dei Regolamenti Edilizi che dal 1566 ad oggi hanno disciplinato l'attività edilizia in Torino, traendo la sua documentazione da un'accurata ricerca attraverso varie fonti e dai dibattiti susseguitesi in Consiglio Comunale.

Le lettere patenti della Reggente Margherita di Francia del 16 maggio 1566 costituiscono il primo provvedimento edilizio di cui si ha traccia in Torino, con esse è fatto divieto di fabbricare nella città senza espressa licenza sovrana.

Questo provvedimento negativo, in quanto pone un divieto, senza dettare norme sul « modus aedificandi », sta a dimostrare l'intendimento di chi reggeva le sorti dello Stato di disciplinare l'attività edilizia affinchè la città avesse un carattere ben definito.

Il primo provvedimento edilizio positivo risale al 1612 ed è un vero e proprio atto di pianificazione urbanistica.

Le lettere patenti di Carlo Emanuele I del 26 marzo 1612 ai proprietari delle case verso la piazza Castello, stabiliscono:

« ... Cediamo, trasferiamo et rimettiamo a tutti li possidenti le suddette case, presenti e future, la parte di essa galleria... con carico però ad essi possidenti et padroni, di far fabbricare essa parte, ognuno sì et come li tutti, per la detta dirittura, cioè sopra li portici due stanze e siano i piani l'uno sopra l'altro e sotto terra, ancora con le finestre, poggiolo et ornamenti che saranno disegnati et ordinati dall'Ingegnere nostro Capitano Ascanio Vitozzi... lasciando però li portici nello stato di pubblica comodità... ».

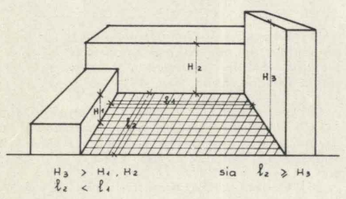


Fig. 1 - Regolamento Edilizio 1843: Art. 12. Ampiezza cortili.

Dal 1612 al 1843 tutta l'attività edilizia è regolata dalle disposizioni del Sovrano che all'uopo, il 10 marzo 1621, istituiva un Magistrato delle fabbriche:

« ... per dirigere le costruzioni dipendenti dal ducal patrimonio, ma eziandio per sovrintendere a quelle private, particolarmente per quanto concerne l'abbellimento... » e successivamente si confortava del parere del Congresso degli Edili istituito con regio biglietto del 16 luglio 1773.

Provvedimenti significativi ed importanti sono quelli dell'ottobre del 1638 della Reggente Cristina di Francia:

« ... doniamo, cediamo e rimettiamo il sito e il luogo in detta città nuova e nella piazza reale che detta di San Carlo per far fabbricare detto palazzo conforme al disegno e stabilimento fatto dal Conte Carlo di Castellamonte ».

Al dicembre del 1665 risalgono le disposizioni per le nuove costruzioni da erigersi in Torino, nella strada che va dalla piazza Castello alla porta di Po e nella suddetta piazza detta Carlina, disposizioni atte a stabilire che le fabbriche dovranno essere:

« ... tutte di un'altezza, con i portici ed ornamenti che saranno da noi prescritti ».

Del 27 giugno 1736 è il regio editto per i rettilineamenti della contrada di Dora Grossa:

« ... Le fabbriche di questa strada dovranno essere disposte secondo il tipo che sarà esposto pubblicamente nell'Ufficio del Vicariato della Città, dichiarando però che eccettuati l'allineamento e l'uguaglianza delle altezze ivi prescritte, potrà ciascuno per il rimanente fabbricare a suo piacere ».

Del maggio 1825 è il piano dell'ampliamento di piazza Vittorio, che specifica:

« ... l'architettura delle isole dovrà uniformarsi ai disegni che saranno da noi approvati sulla proposizione del mentovato Consiglio ».

E giungiamo agli ultimi provvedimenti: è del 1846 il piano regolatore per Borgo San Salvatore e del 1851 il piano per l'ingrandimento parziale fuori Porta Susa, qui però le norme sono limitate alla precisazione dell'altezza degli edifici:

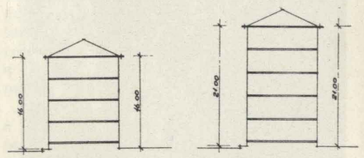
« ... compresi il cornicione, gli attici, il numero dei piani e l'altezza minima di ciascun piano ».

I pochi esempi sopra citati sono sufficienti a dimostrare che tutti i piani di ampliamento della città, di sistemazione del nucleo urbano, di abbellimento e rettilineamento delle vie, sono sempre stati oggetto di studio da parte degli architetti del Re.

Allo studio urbanistico erano sempre uniti i disegni dei fabbricati che si dovevano costruire e modificare, a ciò dobbiamo l'unitarietà di piazza Castello, di via Po, via Garibaldi, piazza San Carlo e di tante piazze, vie e corsi di Torino.

Ogni nuovo piano di ampliamento della città prevedeva, non solo la distribuzione viaria, ma anche come dovevasi edificare ai lati delle vie e piazze più importanti; l'armonicità sopra citata di piazza San Carlo, via Po, e di altre vie, sono frutto di progetti unitari realizzati dai vari proprietari che hanno costruito.

Sino al 1792 le varie norme rispecchiavano la sola preoccupazione di dare particolari caratteristiche all'aspetto esterno delle costruzioni, l'interno era lasciato all'obbiettività ed all'arbitrio del singolo, tanto per la distribuzione planimetrica quanto per la distribuzione volumetrica.



Borgo S. Salvatore. H max 16,00 mt., 4 piani.

Borgo S. Salvario, Porta Nuova, Valdocco, Cernaia. H max 21,00 mt., 5 piani.

Fig. 2 - Piani di ampliamento.

A seguito degli inconvenienti riscontrati per il rettilineamento di via Dora Grossa, ora via Garibaldi, il congresso degli Edili suggeriva l'opportunità di applicare determinate regole anche per gli interni, infatti:

« ... avendo rilevato la soverchia ristrettezza dei cortili in proporzione all'altezza, crede il Congresso conveniente che Sua Maestà obblighi i costruttori a presentare oltre le facciate delle nuove case, anche le piante ed alzate nell'interno delle medesime ».

Ne conseguiva un regio biglietto di Sua Maestà del 27 marzo 1792 che prescriveva tale norma ed invitava il Congresso degli Edili ad esaminare attentamente: « non meno l'esteriore che l'interno delle nuove fabbriche ».

Da ciò si deduce che il Congresso degli Edili, dall'esame dei fabbricati realizzati secondo i disegni uniti ai piani di ampliamento e di rettilineamento, rilevò la necessità di disciplinare per evidenti ragioni igieniche la volumetria dei fabbricati verso i cortili, e la distribuzione planimetrica dei locali.

Il Congresso degli Edili nell'esame dei progetti enunciava delle norme, dei principi, che se anche non venivano trascritti, servivano come guida a chi doveva progettare e realizzare nuovi fabbricati

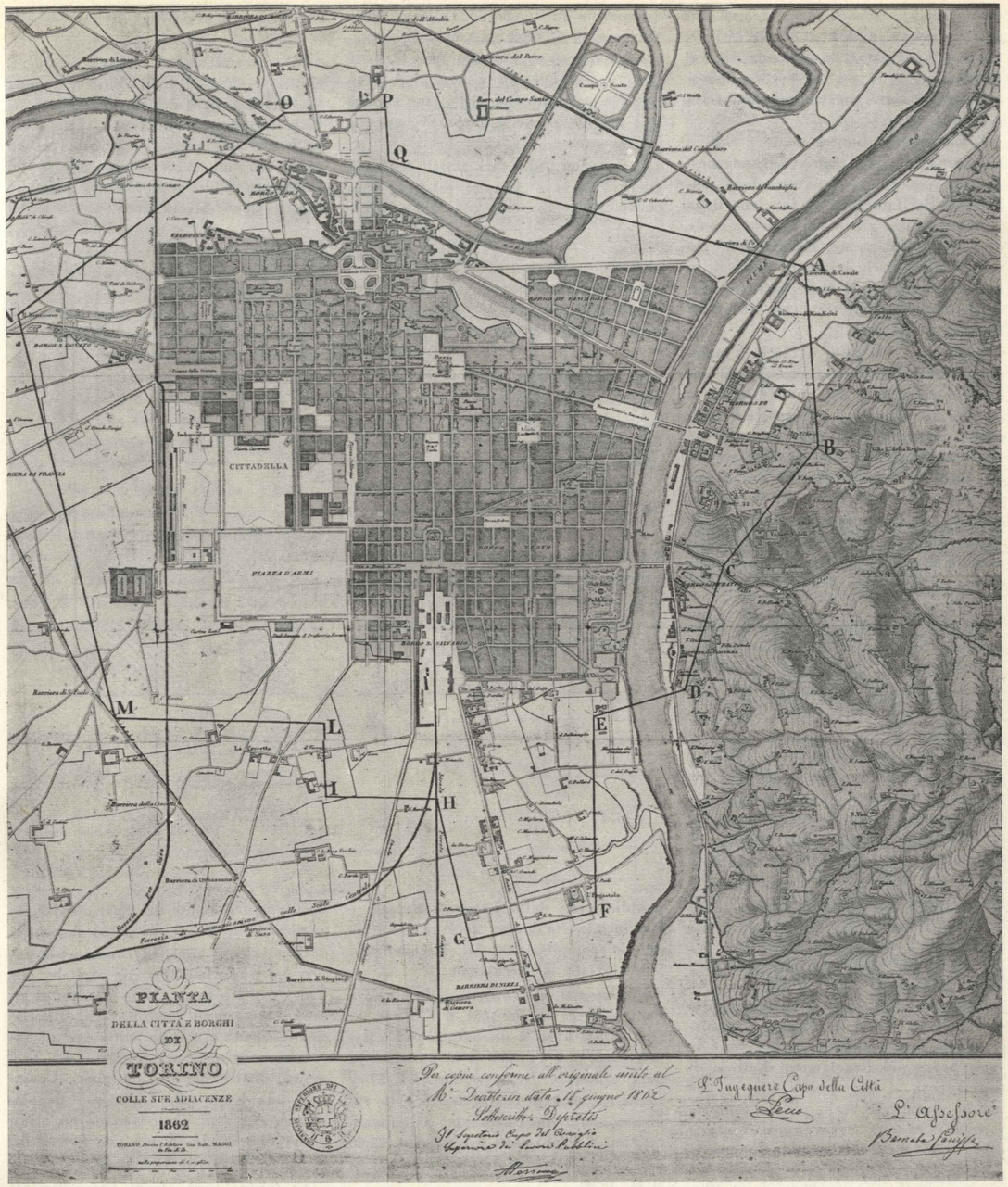


Fig. 3.

e costituivano la premessa per un regolamento in campo igienico-edilizio.

La raccolta di tutte queste norme dava vita al primo Regolamento Edilizio di Torino che è stato reso di pubblica ragione con un manifesto del Vicariato il 7 novembre 1843.

Questo Regolamento, oltre a codificare quanto il Congresso degli Edili aveva sino ad allora applicato, stabiliva la norma per determinare l'ampiezza dei cortili dei nuovi edifici, imponendo che l'altezza massima del fabbricato non doveva superare il lato minimo del cortile (figura 1).

I fabbricati dovevano perciò prospettare verso cortile su di uno spazio libero eguale alla loro altezza; tale rapporto tra *H* ed *L* pari ad uno è ancora oggi accettabile, basta ricordare che questo concetto della determinazione dello spazio verso cortile in funzione dell'altezza dell'edificio, abolito con il Regolamento d'ornato del 1862, fu ripreso nel Regolamento del 1912, ove si richiedeva uno spazio verso cortile eguale a quello verso via e fu nuovamente introdotto nelle

varianti del 1953, cioè ben 110 anni dopo, ma ridotto ai 2/3 ed ai 4/5 dell'altezza dell'edificio a seconda che il medesimo prospetta su un cortile aperto o chiuso. È certo che non abbiamo fatto progressi.

È interessante inoltre rilevare che in questo Regolamento non vi è fissata nessuna norma per la determinazione dell'altezza dei fabbricati in funzione della larghezza delle vie e ciò perchè, come detto precedentemente, l'edificazione avveniva allora esclusivamente per isole o per vie in cui già il regio biglietto aveva determinato l'altezza degli edifici ed il numero dei piani.

Negli anni dal 1848 al 1860, l'incremento della popolazione causato dal volume migratorio e dai nuovi compiti a cui Torino, capitale del Regno, era chiamata; crearono nella città un notevole incremento edilizio che fu disciplinato dai piani di ampliamento di Borgo San Salvatore, di Porta Nuova, di Borgo San Salvario, di Porta Susa, di Valdocco, di Vanchiglia, ecc. dove erano fissate le altezze degli edifici sia verso via sia verso cortile ed il numero dei piani consentiti (fig. 2).

Alla fine di facilitare al massimo l'edificazione fu ritenuto opportuno snellire la formazione di questi piani di ampliamento riducendoli a semplici piani viari e disciplinando l'edificazione con il Regolamento Edilizio.

Scomparve così l'obbligo di edificare secondo schemi preordinati, obbligo che sempre prima aveva accompagnato i piani di ampliamento; ad una composizione architettonica unitaria determinata da una mente sola, succedeva la libertà di azione del singolo il quale poteva così dare ai nuovi edifici forme e volumi dettati dalla propria necessità e preferenza, con la sola remora di alcune norme che disciplinavano l'altezza della fabbrica rispetto agli spazi liberi.

Non sono stati conservati negli archivi comunali gli atti delle diverse Commissioni che hanno studiato ed elaborato le varie bozze dei Regolamenti Edilizi, di conseguenza si ignorano i motivi che hanno causato la scelta di determinate formule; restano come unica fonte i dibattiti avvenuti in Consiglio Comunale durante l'approvazione dei vari articoli e non sempre sono sufficienti ad illustrarli.

Il Sindaco Bellono nella seduta del 25 giugno 1852 denunciò al Consiglio Comunale la necessità di riformare il Regolamento Edilizio del 1843 ed il Consigliere Promis fu incaricato di studiare un Regolamento Edilizio; nella seduta del 21 luglio 1852 venne iniziata la discussione degli articoli che limitavano l'altezza degli edifici a metri 21,00, la discussione fu lunga ed animata senza giungere ad una conclusione e: « ... poichè nel prossimo autunno sarà discusso l'intero Regolamento e non vi è pericolo che nel frattempo si possano elevare case più alte di detta quota, si sospende l'approvazione... » Tempi beati!

Il dibattito subì vari rinvii, i Consiglieri Valerio e Vegezzi proposero un nuovo Regolamento, ma l'imminente pubblicazione della Legge Comunale e Provinciale che doveva stabilire le norme per la compilazione dei Regolamenti, fece rinviare la discussione.

Finalmente su proposta dell'Assessore Panizza il 27 aprile 1861 il Sindaco A. Di Cossilla apre la discussione sul « Regolamento per l'ornato e la polizia edilizia urbana ». Nelle sedute del 27-30 aprile e 2 maggio il Regolamento fu approvato, solo con discussione sull'altezza massima dei fabbricati fissata in m. 21,00 per vie e piazze di larghezza maggiore ai m. 18,00.

Il Regolamento approvato con Decreto Reale del 18 giugno 1862 divenne operante il 1° settembre 1863 e riportò rispetto al precedente alcune innovazioni quali: la formazione della Commissione d'ornato e sue attribuzioni, i limiti territoriali di giurisdizione (fig. 3), la determinazione dell'altezza dei fabbricati in funzione della larghezza delle vie, la determinazione dell'ampiezza dei cortili in funzione della superficie delle fronti che li recingono (fig. 4).

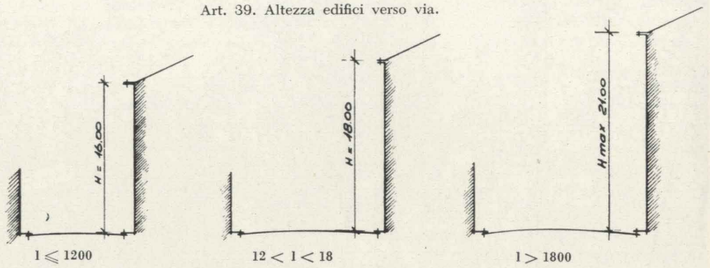
La determinazione dell'altezza degli edifici in funzione della larghezza della via, dell'ampiezza dei cortili in funzione della superficie delle fronti, sono concetti base ancora validi che hanno subito poche varianti, basta pensare che il Regolamento Edilizio di Milano, premiato 30 anni dopo, fissava come superficie dei cortili non il limite del quarto della superficie delle fronti ma bensì il quinto.

Dopo alcuni anni, in conseguenza anche del trasferimento della capitale, che aveva causato una crisi in Torino, si ritenne opportuno modificare il Regolamento ritenuto troppo minuto e di soverchia esigenza, nel febbraio del 1870 venne distribuita ai Consiglieri Comunali una bozza per un nuovo Regolamento, che non diede origine ad alcun provvedimento in quanto non fu mai discusso in Consiglio Comunale.

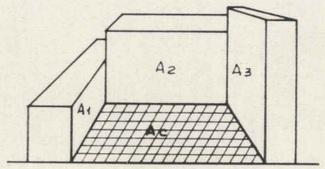
Vi furono però alcuni provvedimenti particolarmente interessanti, come quello del 10 marzo 1881 proposto dall'Assessore Ceppi: « ... verificandosi che alcune volte le nuove costruzioni eccedono le altezze stabilite con progetti approvati, pare opportuno che oltre alle norme prescritte siano con evidenza segnate sul luogo le altezze dei diversi piani e quella complessiva del fabbricato ».

« ... si propone che sia imposto l'obbligo ai costruttori di innalzare per ogni corpo di fabbrica un'antenna, la quale porti saldamente fissate biffe ad altezze corrispondenti al livello dei pavimenti dei vari piani e della linea superiore di coronamento della fabbrica, quali altezze siano riconosciute dall'Ufficio d'Arte del Comune ».

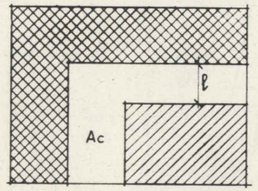
Art. 39. Altezza edifici verso via.



Art. 42. Altezza edifici verso cortile.



Art. 47. Area cortile.



Alti fabbricati

Bassi fabbr. h = 6,50

Area libera - Ac > 144 00 mq
l > 8 50 mt

Fig. 4 - Regolamento d'ornato 1862.

Anche allora occorreva frenare certi abusi, la norma venne abolita nel Regolamento Edilizio del 1912.

Nella seduta del 29 novembre 1886 in merito all'apertura della nuova via tra piazza Castello e piazza Solferino (via Pietro Micca) si parla per la prima volta in Consiglio Comunale delle mansarde; osserva il Consigliere Favale che forse mentre si: « ... discute a lungo circa una sopraelevazione di 1,00 mt. gli assuntori progettano alla loro volta una sopraelevazione ben maggiore sottoforma di mansarde ».

Il Sindaco risponde che la questione delle mansarde era già stata risolta dalla Commissione d'ornato la quale aveva stabilito che l'altezza degli edifici è determinata solo dall'altezza dei cornicioni.

Ma la questione comincia a diventare grossa ed il 27 aprile 1888 l'Assessore Riccio propone:

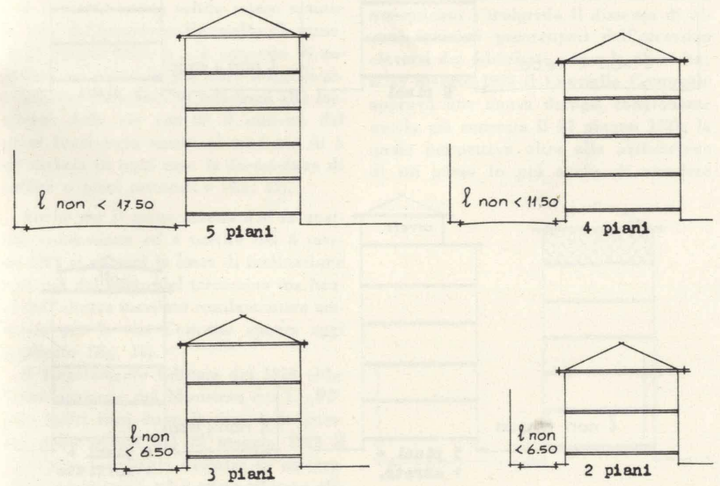


Fig. 5 - Norme d'igiene per la costruzione delle case 15 gennaio 1901: Art. 2. Numero piani.

« ... Da poco più di 10 anni si è introdotta in Torino la foggia di costruzione a mansarde ad imitazione di quelle che si fanno in altri paesi. Le prime furono eseguite in modo conveniente se non che dopo un po' di tempo in talune costruzioni al solo scopo di speculazione si fece un vero abuso di queste mansarde. Ne derivarono pertanto violazioni a disposizioni regolamentari trincerate dietro i permessi, e veri sconci in linea architettonica. Pertanto si propone al Consiglio Comunale una aggiunta all'articolo 40 tale che: l'altezza delle fronti delle case sarà presa alla metà della loro lunghezza e compreso il cornicione non solo ma eziandio le gallerie, le cosidette mansarde, gli attici, i parapetti, gli abbaini, ecc. ».

Da allora in Torino non furono più costruite mansarde.

Il 28 marzo 1887 il Consiglio Comunale assunse un'altra importante deliberazione: estese l'applicazione del Regolamento a tutte le vie protese oltre la cinta daziaria.

Dal 1895 al 1900 il Consiglio Comunale discusse le modifiche al Regolamento d'ornato ritenuto vecchio e superato per la città che andava espandendosi sotto la spinta industriale, l'elaborazione dei vari articoli fu molto difficile e solamente il 15 gennaio 1901 il nuovo Regolamento andò in vigore.

Il concetto nuovo, che provocò le più accese discussioni, fu quello di stabilire per ogni via il numero massimo dei piani che ogni edificio poteva avere senza determinazione di un limite di altezza.

Perchè meglio si possa comprendere quale era lo spirito di allora conviene riportare le parole pronunciate dal Brayda nella seduta del Consiglio Comunale del 27 febbraio 1899: « ...la Commissione d'ornato manifestò il desiderio che sia mutato il sistema attuale dell'altezza fissa ed uniforme degli edifici, allo scopo di dare alle nuove costruzioni una maggior varietà ed una altezza diversa dell'ordinario. Molte volte gli Architetti progettando torri od altre parti elevate di edifici trovarono difficoltà nella Commissione di ornato o nell'Ufficio Edilizio perchè oltrepassavano il limite massimo di mt. 21,00 stabilito dal Regolamento Edilizio; invece con il nuovo sistema si lascia maggior libertà a tutto vantaggio dell'estetica. Per questi motivi desidero che si abbandoni ogni accenno alla limitazione dell'altezza degli edifici ».

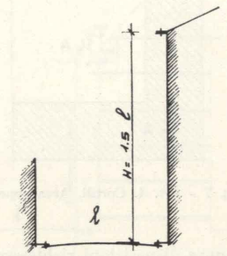


Fig. 6 - Regolamento d'ornato 15 gennaio 1901: Art. 35. H max 22,00 mt.

Il Consiglio Sanitario suggerì l'opportunità di stabilire per gli edifici un limite di altezza eguale ad una volta e mezza la larghezza della via con una altezza massima assoluta; nella seduta del 4 dicembre 1899, descrivendo questa proposta, si riportò il pensiero della Commissione d'Ornato all'uopo interpellata la quale: « ... richiamando la discussione avvenuta nel Consiglio Comunale faceva presente che pensatamente si era omesso di fissare il limite di altezza delle case in funzione della largheza della via, nel desiderio di dare alle nuove costruzioni maggior varietà, con l'evitare che le case siano portate tutte ad una uniforme altezza, osservando che in tal guisa si lascia più libero l'ingegnere o l'architetto nella manifestazione delle sue idee e che d'altra parte già una limitazione viene fissata con le norme relative all'altezza verso cortile ».

La discussione fu lunga, al fine di uscirne si interpretò tale concetto come una norma igienica ed il 15 gennaio 1901 contemporaneamente al Regolamento andarono in vigore « Le norme relative all'igiene per la costruzione delle case » (capo X del Regolamento di Igiene), che stabilivano il numero dei piani degli edifici in funzione della larghezza delle vie (fig. 5), mentre nel Regolamento di ornato fu introdotta la limitazione generica riguardante l'altezza degli edifici che non doveva essere superiore ad una volta e mezzo la larghezza della via con un limite massimo di mt. 22,00 (fig. 6).

Rispetto ai cortili, fermo restando l'obbligo che l'area libera doveva essere superiore al quarto della superficie delle

fronti che la recingevano, l'area coperta non doveva eccedere i 2/3 dell'area totale, fatta eccezione per gli edifici industriali (fig. 7).

L'applicabilità del Regolamento fu estesa oltre la cinta daziaria alle zone già comprese nei piani di ampliamento.

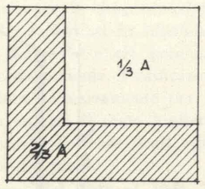


Fig. 7 - Art. 4. Cortili. Area coperta.

Le nuove disposizioni richiesero molte deliberazioni interpretative sia per i casi di ricostruzione sia per i fabbricati industriali.

La necessità di costruire nei cortili bassi fabbricati da destinare a garage, fece variare nel 1907 l'art. 43 che riportava la vecchia norma del 1862 relativa alla possibilità di erigere nei cortili bracci di fabbrica di altezza minore di metri 6,50 purchè la restante parte libera non fosse minore di mt. 144 ed avesse un lato maggiore di mt. 8,50.

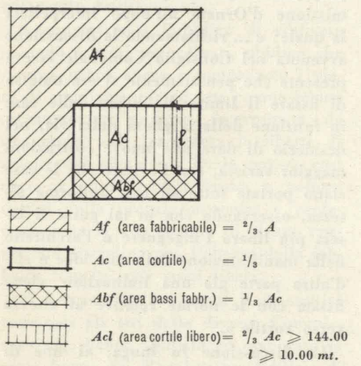


Fig. 8 - Regolamento d'ornato 13 gennaio 1907: Art. 43.

Nel terzo libero dei cortili fu permesso edificare ancora un terzo con bassi fabbricati di altezza non superiore ai metri 4,50, sempre che restassero disponibili 144 mt. di area libera con lato non inferiore ai mt. 10 onde permettere alle vetture di manovrare (emendamento Sambuy) (fig. 8).

Constatata l'opportunità di riordinare le varie deliberazioni interpretative e di riunire tutta la materia in un testo organico diversi Consiglieri proposero di modificare il Regolamento d'ornato e nelle sedute del 10-17 luglio 1911 - 17 gennaio, 13 settembre 1912, il Consiglio Comunale approvò le modifiche che andarono in vigore il 1° gennaio 1913.

Il nuovo Regolamento si chiamò Edilizio, estese la sua competenza a tutto il territorio comunale, fu stabilito il numero dei piani in relazione alla larghezza delle varie vie (fig. 9), l'altezza degli edifici verso via venne fissata dalle formule: $H=1{,}5\ L$ per vie di larghezza minore di mt. 12,40 e $H=14{,}50+L/3$ per vie di larghezza maggiore, con altezza massima di mt. 25,00 (fig. 10).

Le soffitte vennero sostituite dal piano arretrato ed il cortile aperto per almeno 9 mt. verso via consentì la deroga alla limitazione del quarto delle fronti; furono stabiliti i termini per la convocazione della Commissione d'ornato, il tempo entro il quale le pratiche dovevano essere evase e come doveva realizzarsi l'apertura delle vie private.

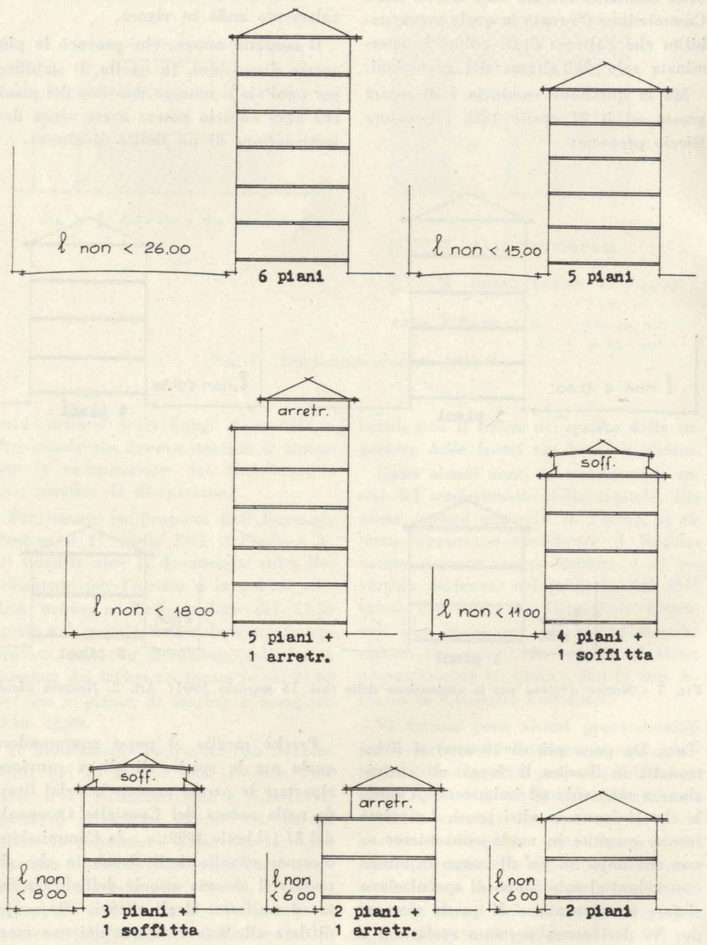


Fig. 9 - Regolamento Edilizio 1° gennaio 1913: Art. 49. Numero dei piani delle case.

L'art. 51 del Regolamento relativo alla formazione del piano arretrato necessitò di alcuni chiarimenti ed il Consiglio Comunale il 18 settembre 1914 approvò una modifica chiarificatrice: « ... la linea di gronda del cornicione sarà in ogni caso riferita al livello del terrazzino del piano arretrato e nel computo della sua sporgenza non si terrà conto dell'eccedenza oltre mt. 1,00 al filo del muro » (fig. 11).

A questo Regolamento furono apportate molte varianti, ma sostanzialmente è ancora in vigore oggi, infatti non vi fu più un provvedimento vero e proprio inteso a portare un miglioramento igienico e distributivo alla città, ma fu una continua concessione di deroghe, poi confermate in varianti vere e proprie che avevano il solo scopo di favorire l'attività edilizia.

Nella seduta del 18 aprile 1921 l'Assessore Giay riferisce: « ... nell'intento di favorire la ripresa edilizia, la quale nelle odierne condizioni, non si verifica in modo sensibile, in antitesi con l'urgente necessità di nuovi alloggi... si consente la costruzione di edifici a 5 piani fuori terra anzichè 4 su vie larghe da mt. 12 a mt. 15 con esclusione di soffitte e purchè si rimanga nell'altezza massima del Regolamento » (fig. 12).

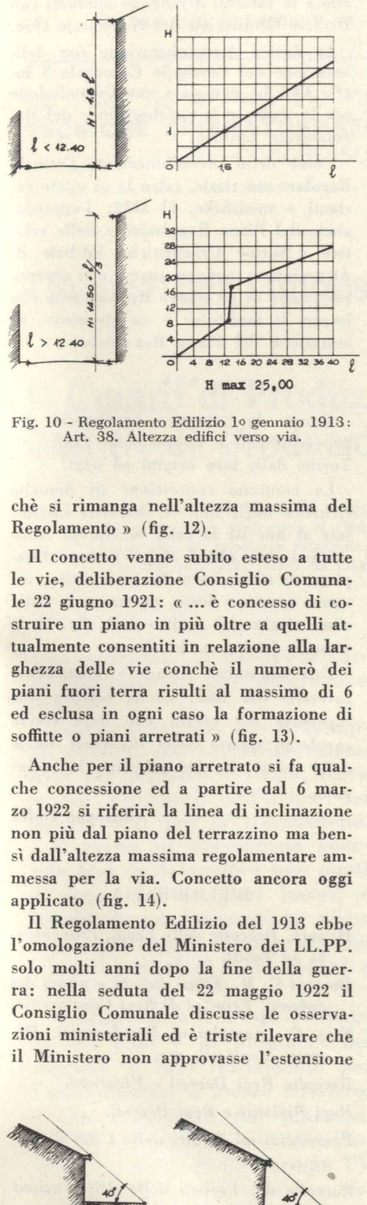


Fig. 10 - Regolamento Edilizio 1° gennaio 1913: Art. 38. Altezza edifici verso via.

Il concetto venne subito esteso a tutte le vie, deliberazione Consiglio Comunale 22 giugno 1921: « ... è concesso di costruire un piano in più oltre a quelli attualmente consentiti in relazione alla larghezza delle vie conchè il numerò dei piani fuori terra risulti al massimo di 6 ed esclusa in ogni caso la formazione di soffitte o piani arretrati » (fig. 13).

Anche per il piano arretrato si fa qualche concessione ed a partire dal 6 marzo 1922 si riferirà la linea di inclinazione non più dal piano del terrazzino ma bensì dall'altezza massima regolamentare ammessa per la via. Concetto ancora oggi applicato (fig. 14).

Il Regolamento Edilizio del 1913 ebbe l'omologazione del Ministero dei LL.PP. solo molti anni dopo la fine della guerra: nella seduta del 22 maggio 1922 il Consiglio Comunale discusse le osservazioni ministeriali ed è triste rilevare che il Ministero non approvasse l'estensione del Regolamento a tutto il territorio comunale ma ne limitasse l'applicazione al solo concentrico.

La carenza di alloggi era grande in tutta Italia, con circolare del 22 dicembre 1921 il Ministero dei LL.PP. consigliava: « ... le civiche Amministrazioni di grandi città a rivedere le disposizioni dei Regolamenti Edilizi che impongono limiti stabiliti nell'altezza delle case, allo scopo di eventuali concessioni nel senso di ammettere maggior altezza, sia pure con effetto transitorio e con le dovute cautele, specialmente quando, per la larghezza e gli spazi antistanti nessun pregiudizio possa derivare nei riguardi igienici ».

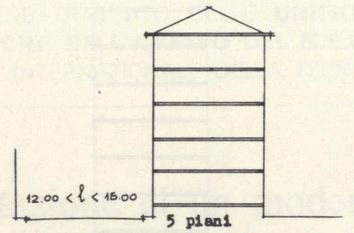


Fig. 12 - Regolamento Edilizio: Art. 49. 18 aprile 1921. Deroga.

L'Amministrazione Civica fu subito ossequiente e malgrado il dissenso di alcuni igienisti preoccupati dall'eccessivo elevarsi dei fabbricati, vinse la necessità; il 29 maggio 1922 il Consiglio Comunale approvò una nuova deroga, conglobante quella già concessa il 22 giugno 1921, la quale permetteva oltre alla edificazione di un piano in più anche di eccedere l'altezza competente alla larghezza della via nel limite massimo del 10 %, ferma restando l'altezza massima di mt. 25,00 (fig. 15).

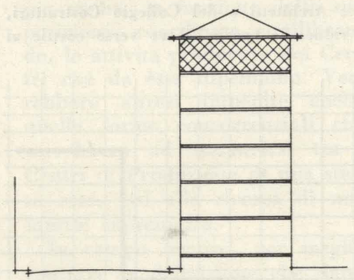
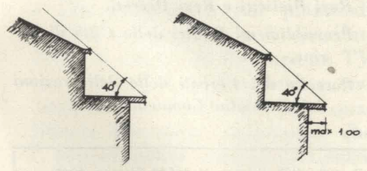


Fig. 13 - Regolamento Edilizio: Art. 49. 22 giugno 1921. Deroga. Ammesso piano in più, max 6 p.f.t. H non superiore quella regolamentare.

Queste deroghe, salvo lievi modifiche ed interruzioni brevissime, furono rinnovate sino al 31 dicembre 1950 ed integrate da altre concessioni sempre dettate dalla necessità di favorire l'attività edilizia.



Art. 51. Piano arretrato. — Art. 51. Chiarificazione del 18 settembre 1914.

Fig. 11 - Regolamento Edilizio 1° gennaio 1913:

È del 7 marzo 1928 l'autorizzazione ad aumentare l'area coperta qualora si realizzasse il cortile aperto ed il 5 luglio dello stesso anno si permise per vie maggiori di 30 mt. di raggiungere i 7 piani con altezza massima di mt. 27,50.

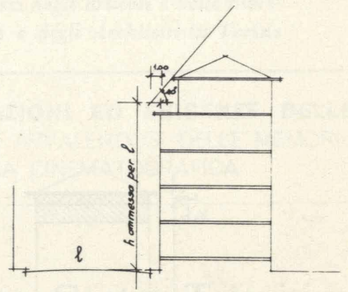


Fig. 14 - Regolamento Edilizio 6 giugno 1922: Art. 51. Piano arretrato.

Il 21 febbraio 1929 anche per le vie comprese tra i 27-30 mt. fu data autorizzazione ad elevare edifici a 7 piani con altezza massima di mt. 27,50 (fig. 16).

Il 18 maggio 1929 venne nominata una Commissione per lo studio della riforma del Regolamento Edilizio, ma i lavori non ebbero risultato ed il 22 marzo 1937 fu nominata una nuova Commissione per lo studio del Regolamento considerato vecchio e non più aderente alla realtà, la guerra sospese però ogni attività.

Fig. 15 - Regolamento Edilizio 22 maggio 1922: Deroga 1/10 h.

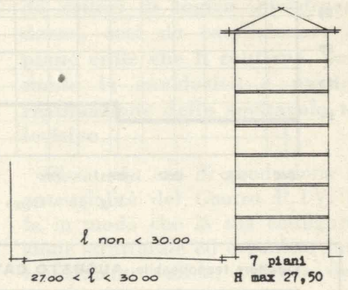


Fig. 16 - Regolamento Edilizio 5 luglio 1928: Deroga. Numero piani. H max.

Il 3 maggio 1946 la Giunta Popolare, causa la grandissima scarsità di alloggi, proroga tutte le precedenti deroghe sino al 31 dicembre 1950, ma ciò non è sufficiente, l'11 dicembre 1947 l'Assessore Casalini: « ... al fine di permettere una utilizzazione sempre maggiore e più completa delle aree fabbricabili propone di consentire una ulteriore maggior altezza degli edifici fino a mt. 1 oltre il 10 % già derogato e di poter costruire edifici a 10 e più piani fuori terra semprechè antistanti ampi spazi pubblici » (fig. 17).

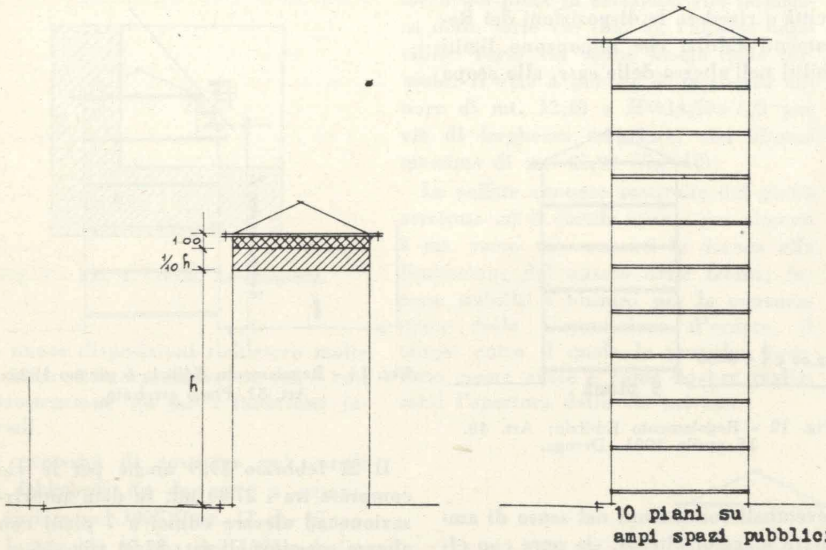


Fig. 17 - Regolamento Edilizio 11 dicembre 1947 - Deroghe.

Queste deroghe non furono mai approvate dal Ministero dei LL.PP. Nella seduta del 2 agosto 1950 il Consiglio Comunale approva una serie di varianti che altro non sono se non la regolarizzazione delle vecchie deroghe con alcune nuove concessioni: scompare la limitazione del numero dei piani in funzione della larghezza della via ma si permette di realizzare un secondo piano arretrato sempre nell'inclinata dei 40°, per la zona esterna su vie maggiori di 18 mt. è permesso di aumentare l'altezza del 10 %, l'altezza massima viene portata a 35 mt. su vie di larghezza non minore di 35 mt., è consentito coprire i 4/5 dell'area quando si realizza il cortile aperto.

Con le ultime varianti è ripristinata la norma che verso cortile i fabbricati dovranno prospettare su uno spazio libero eguale alla loro altezza, norma già del primo Regolamento del 1843, abolita nel 1862 e parzialmente ripresa nel 1912.

Questa norma è ritenuta troppo onerosa ed il 9 aprile 1951 il Consiglio Comunale, su richiesta della Soc. Ingegneri e Architetti e del Collegio Costruttori, riduce lo spazio libero verso cortile ai 2/3 ed ai 4/5 dell'altezza a seconda se il cortile e aperto o chiuso.

Il Consiglio Superiore dei LL.PP. suggerisce alcune modifiche relative principalmente all'altezza degli edifici nelle varie zone della Città, il Consiglio Comunale il 10 novembre 1953 ne prende atto e le varianti divengono operanti con Decreto Ministeriale del 27 febbraio 1956.

La Civica Amministrazione con deliberazione del Consiglio Comunale 3 luglio 1961 ha nominato una Commissione per lo studio e la rielaborazione del Regolamento Edilizio.

Come detto precedentemente l'attuale Regolamento risale, salvo le su citate varianti e modifiche, al 1912; l'approvazione del Piano Regolatore e delle relative « Norme Urbanistiche Edilizie di Attuazione » rendono quanto mai urgente l'adozione di un nuovo Regolamento che integri le medesime e sia strumento di attuazione del Piano Regolatore.

* * *

Questa la semplice cronistoria dei provvedimenti e Regolamenti Edilizi di Torino dalle loro origini ad oggi.

La continua concessione di deroghe richieste dagli Enti ed Autorità interessate al fine di favorire la ripresa edilizia nei due ultimi dopo guerra, l'impiego di nuove tecniche costruittive, cemento armato e ferro, portarono la città, come risulta dal grafico della fig. 18, a crescere fatalmente in altezza.

Una sola norma rimase fortunatamente invariata dal 1862, quella relativa alla superficie dei cortili che deve essere eguale al quarto della superficie totale delle fronti che verticalmente la recingono.

Giuseppe Boffa

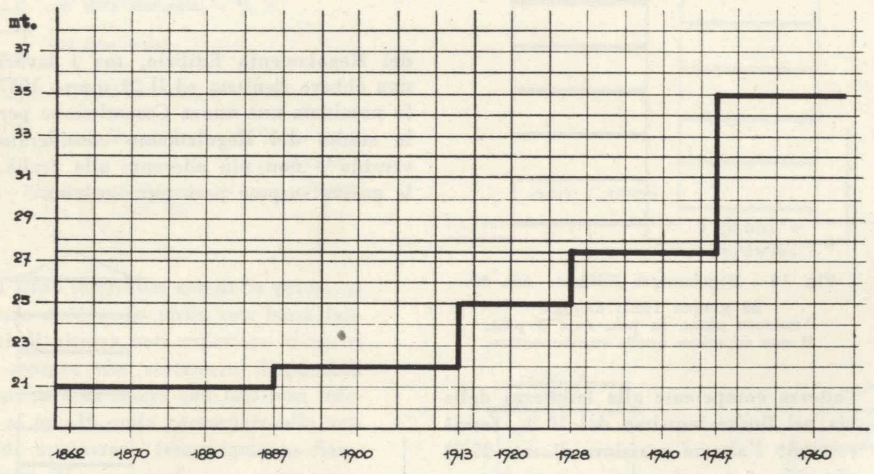


Fig. 18 - Come Torino è cresciuta.

BIBLIOGRAFIA

DUBOIN, *Raccolta delle Leggi, Provvidenze ed Editti.*

BORELLI G. B., *Editti antichi e nuovi dei Sovrani, Principi di Real Casa Savoia.*

FAVA C., *Raccolta di Regolamenti, Decreti, Manifesti, ecc.*

Raccolta Regi Decreti - Vicariato.

Regi Biglietti e Regi Decreti.

Provvedimenti Edilizi della Città di Torino.

Raccolta dei Verbali delle deliberazioni del Consiglio Comunale.

Direttore responsabile: **AUGUSTO CAVALLARI-MURAT** Autorizzazione Tribunale di Torino, n. 41 del 19 Giugno 1948

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - TORINO