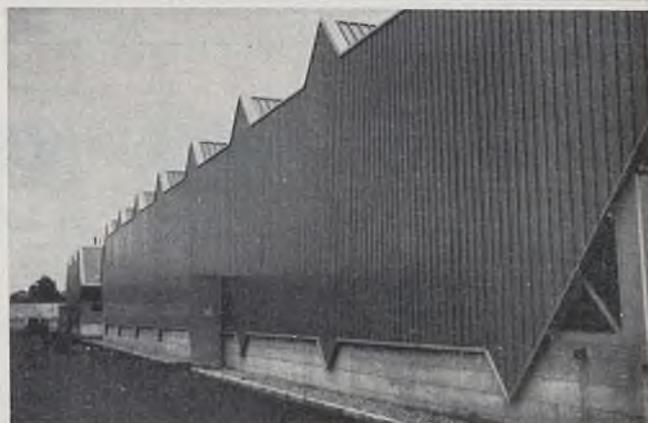
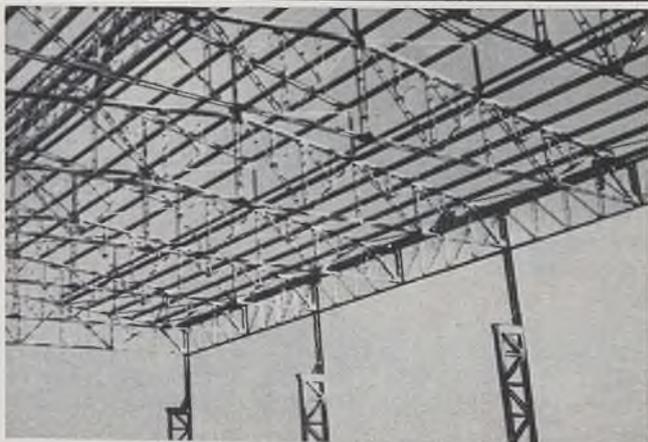


EDIFICI

CIVILI - INDUSTRIALI - AGRICOLI

ORTECO

CARPENTERIA METALLICA



Torino - c. M. D'Azeglio 78 - tel. 688792

FINANZIAMENTI A MEDIO TERMINE

CENTROUNO

All'industria

per il rinnovo, l'ampliamento o la costruzione di impianti industriali

All'esportazione

per lo smobilizzo dei crediti nascenti da esportazioni di merci e servizi e/o lavori all'estero

Al commercio

per l'acquisizione, la costruzione il rinnovo e l'ampliamento dei locali e delle attrezzature necessarie all'esercizio commerciale

Sconto effetti

per la vendita con riserva di proprietà e con pagamento rateale differito di macchinari nuovi



MEDIOCREDITO PIEMONTESE

il filo diretto tra il credito a medio termine e le piccole-medie imprese

Sede: Piazza Solferino 22 - 10121 Torino
Telefoni: (011) 534.742 - 533.739 - 517.051



dal 1938

asfalt - c. c. p. S. p. A.

- COPERTURE IMPERMEABILI
- ASFALTI COMUNI E A FREDDO
- ASFALTI COLORATI
- COSTRUZIONE E PAVIMENTAZIONI:
STRADE - CAMPI SPORTIVI
MARCIAPIEDI E CORTILI
- FORNITURA DI PRODOTTI BITUMINOSI

10154 TORINO - STRADA DI SETTIMO 6 - TEL. (011) 20.11.00 - 20.10.86

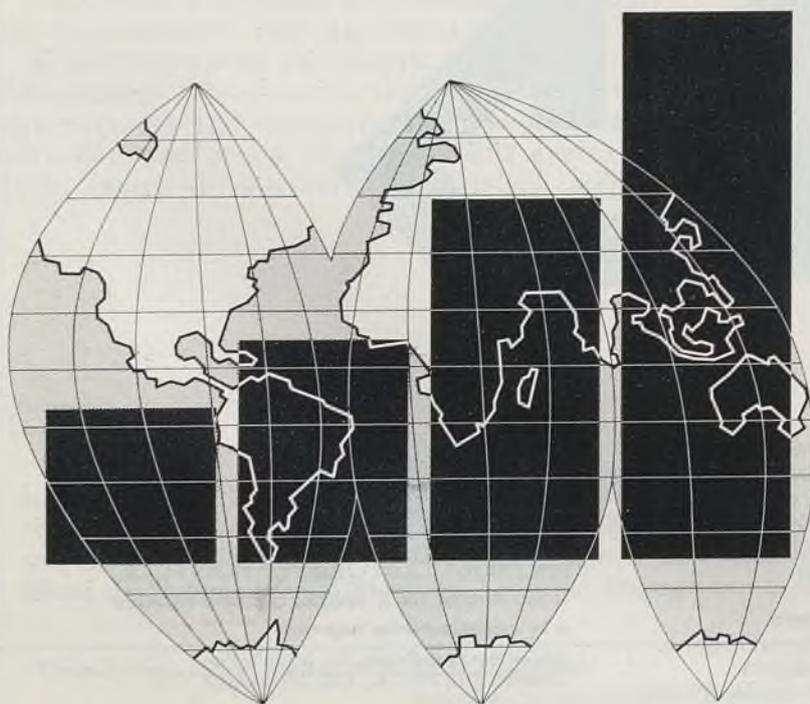
DOTT. ING. VENANZIO LAUDI

s. a. s. di **LAUDI G. & C.**

IMPIANTI RAZIONALI TERMICI E IDRICO SANITARI

TORINO - VIA MADAMA CRISTINA, 62 - TEL. DIREZIONE: 683.226 - TEL. UFFICI: 682.210

Per grandi affari una grande esperienza.



- Istituto di Credito di Diritto Pubblico fondato nel 1563
- Raccolta fiduciaria: 18.600 miliardi
- Fondi patrimoniali: 1074,4 miliardi
- 340 filiali in Italia e all'estero

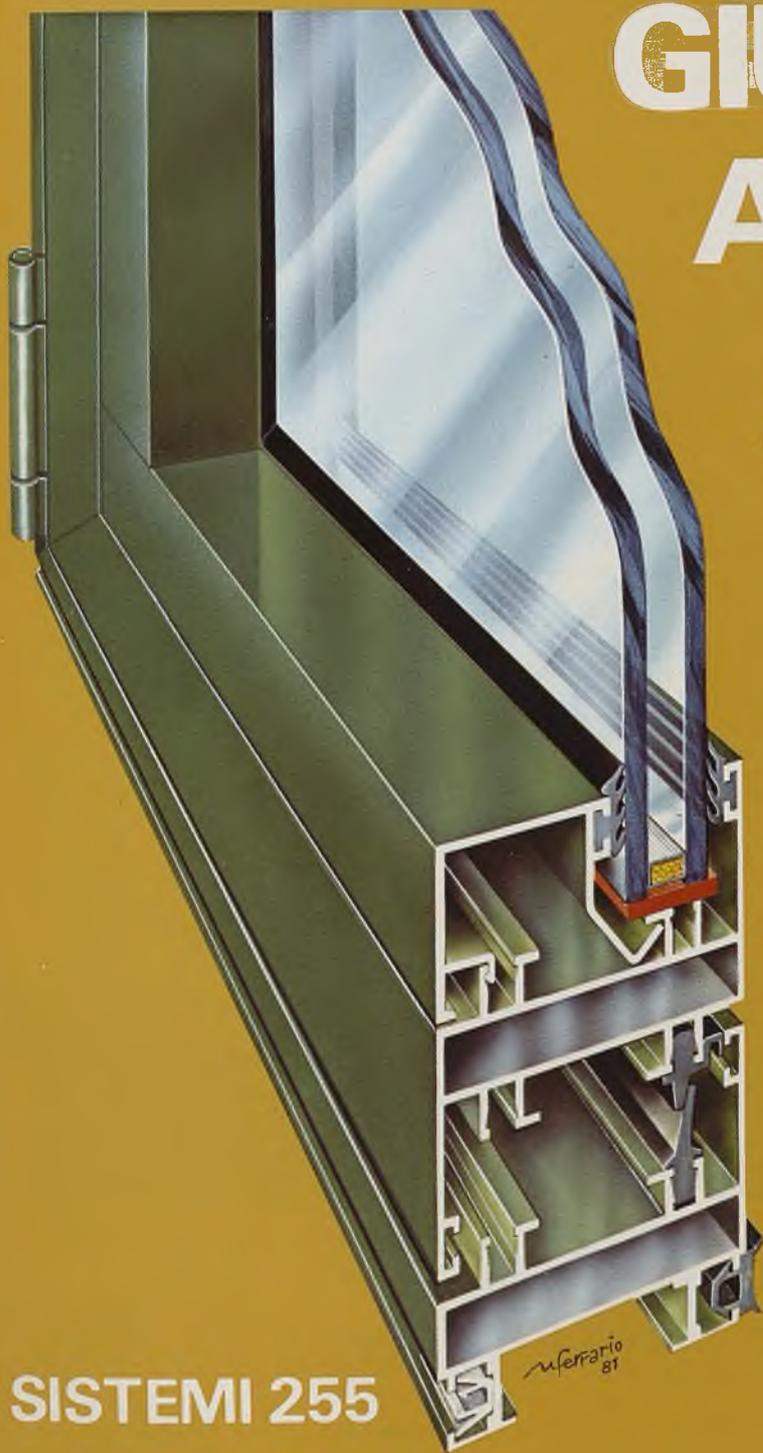
SANPAOLO

ISTITUTO BANCARIO
SAN PAOLO DI TORINO

La banca per chi ha il mondo come ufficio

PER UNA PERFETTA TENUTA DELL'ACQUA E DELL'ARIA

PER RISPETTARE LEGGE 373 SCEGLIETE



SISTEMI 255

GIUNTO APERTO ALPHA®

Questo sistema, che adotta la collaudata tecnica del "giunto aperto", diffusa nelle serie per serramenti di elevate prestazioni, si distingue per l'impiego di due guarnizioni interne in posizione arretrata.

In tal modo l'aria, penetrando in pressione dinamica nella camera e trasformandosi qui in pressione statica grazie all'elevato volume della camera stessa, comprime fra loro le guarnizioni, aumentandone notevolmente l'adesione. In questo processo l'acqua trasportata dall'aria precipita e fuoriesce da appositi fori di scarico.

SERIE PIANA SIA ALL'INTERNO CHE ALL'ESTERNO DELL'INFISSO A PROFILI SIMMETRICI.

ABBIAMO ELIMINATO IL RUMORE METALLICO CON LE GUARNIZIONI DEL GIUNTO APERTO, CHE OPERANO DA AMMORTIZZATORI DI BATTUTA.

FRESIA®

VIA SOSPELLO, 199 - 10147 TORINO

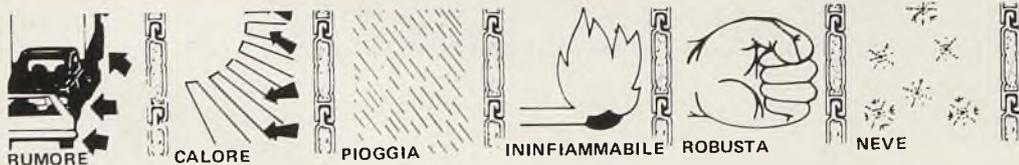
**CONCESSIONARIO
SISTEMA ALPHA®**

FRESIA®

alluminio s.r.l.

Rollita

VIA SOSPELLO, 199 - 10147 TORINO - 297.107 - 299.895



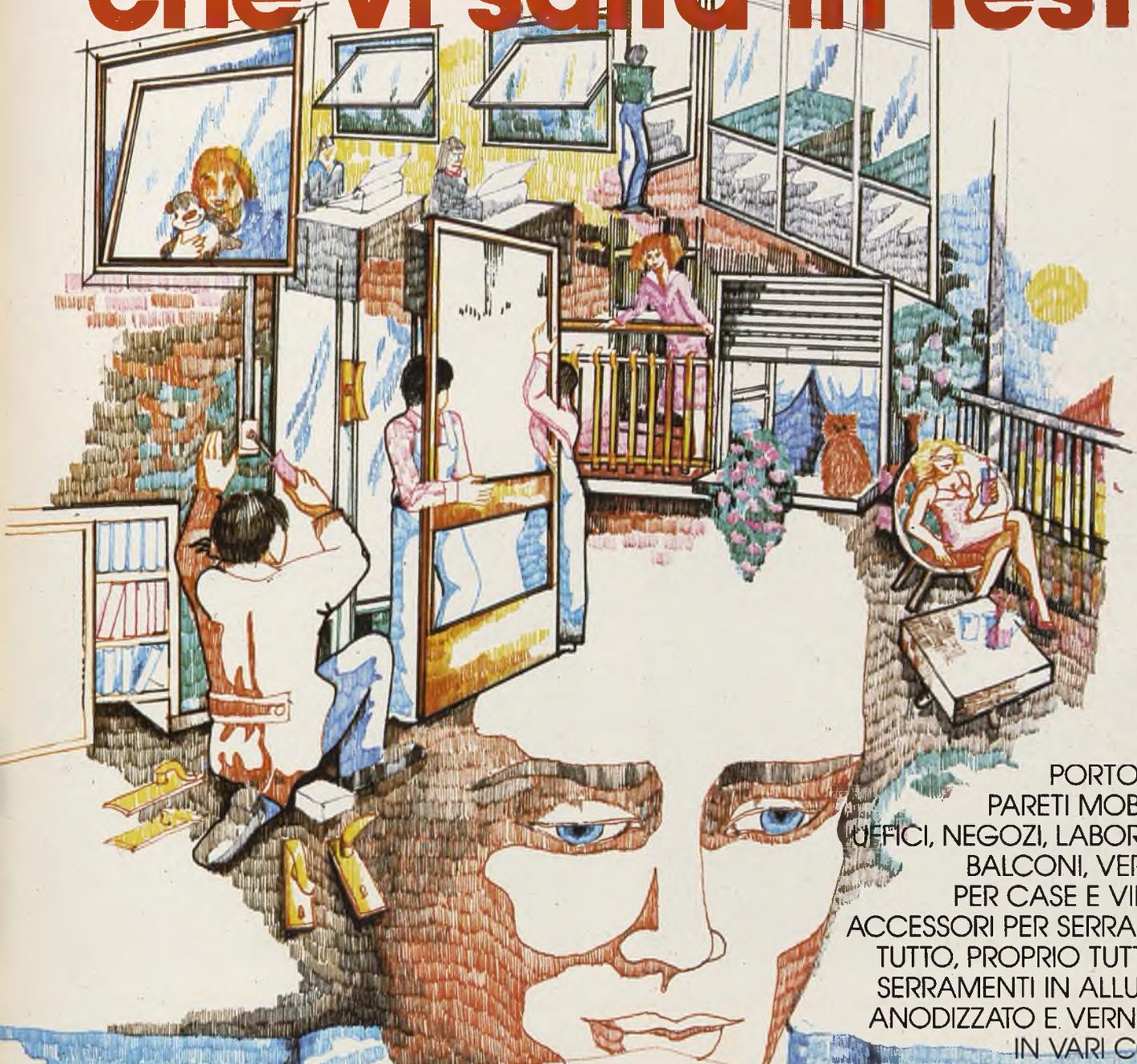
l'avvolgibile in alluminio resistente, robusto, leggero, scorrevole ed inalterabile nel tempo grazie al perfetto assemblaggio di profili in alluminio disponibili in ben cinque tipi di cui tre normali e due speciali "imbottiti" extrarigidi con proprietà fonoassorbenti e termofiltranti per la chiusura di luci anche oltre i tre metri di larghezza, senza la minima deformazione.



È UNA ESCLUSIVITÀ FRESIA®

Se siete interessati alle tapparelle in alluminio Rollita richiedeteci il catalogo particolareggiato

per fare tutto ciò che vi salta in testa



PORTONCINI,
PARETI MOBILI PER
UFFICI, NEGOZI, LABORATORI,
BALCONI, VERANDE
PER CASE E VILLETTE.
ACCESSORI PER SERRAMENTI.
TUTTO, PROPRIO TUTTO PER
SERRAMENTI IN ALLUMINIO
ANODIZZATO E VERNICIATO
IN VARI COLORI.
TAPPARELLE IN
ALLUMINIO VERNICIATO.

PROFILI FINITI
UN'ANODIZZAZIONE
GARANTITA 15 MICRON
(NORME UNI 3952/66)
E LEGA ANTICORODAL 6060T5

FRESIA®

PROFILATI PER SERRAMENTI IN ALLUMINIO ANODIZZATO
VIA SOSPELLO 199 - 10147 TORINO - TEL. (011) 29.98.95 - 29.71.07

Ritaglia e spedisci questo tagliando al Centro
informazioni FRESIA ALLUMINIO s.r.l.
Via Sospello 193 - 10147 TORINO

Desidero fissare, senza alcun impegno, un appunta-
mento con un Vostro professionista specializzato nel-
la lavorazione e posa in opera dei Vostri profilati in
alluminio anodizzato. SONO INTERESSATO A:

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Finestre e controfinestre | <input type="checkbox"/> Balconi |
| <input type="checkbox"/> Anta ribanta | <input type="checkbox"/> Scorrevoli |
| <input type="checkbox"/> Verande | <input type="checkbox"/> Blicci |
| <input type="checkbox"/> Tapparelle in alluminio | <input type="checkbox"/> Pareti mobili |
| <input type="checkbox"/> anodizzato afo-ne - atermiche | <input type="checkbox"/> Portoncini |

Il mio numero telefonico è _____

Cognome _____

Nome _____

Via _____ N. _____

CAP. _____ CITTÀ _____



PROFILI

FRESIA®

Profilati in alluminio anodizzato
VIA SOSPELLO, 199 - 10147 TORINO - 297.107 - 299.895

**Specializzato in
BALCONI e
RINGHIERE**



**NOVITA'
ASSOLUTA**

**Profilati in alluminio
per serramenti verniciati
a piu' colori**



ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETA' DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867

NUOVA SERIE . ANNO XXXV . N. 6 GIUGNO 1981

SOMMARIO

VITTORIO ZIGNOLI

PARTE SECONDA

- La disposizione planimetrica degli impianti industriali, 1957* . pag. 211
- Comportamento delle funi soggette alla pressione del vento e alle escursioni tecniche nella grande tesata dell'attraversamento elettrico dello stretto di Messina, 1959* » 239
- Principi di progetto, uso e manutenzione degli apparecchi di sollevamento industriale in rapporto alla sicurezza del loro esercizio, 1969* » 242
- I grafici lineari e reticolari nella programmazione edilizia, 1971* » 252

Direttore: Mario Federico Roggero.

Vice Direttore: Roberto Gabetti.

Comitato di redazione: Matteo Andriano, Bruno Astori, Guido Barba Navaretti, Claudio Decker, Marco Filippi, Cristiana Lombardi Sertorio, Vera Comoli Mandracci, Francesco Sibilla.

Redattore capo: Elena Tamagno.

Comitato di amministrazione: Francesco Barrera, Giuseppe Fulcheri, Mario Federico Roggero.

Redazione, segreteria, amministrazione: Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, via Giolitti, 1 - Torino.

ISSN 0004-7287

Periodico inviato gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino.

NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA |

IMPIANTI TELEFONICI DI PROPRIETÀ

Molte aziende, come industrie, banche, compagnie di assicurazione, enti pubblici, hanno l'impianto telefonico di proprietà, perché i calcoli economici sono evidenti:

- **ammortamento in pochi anni** il valore di una centrale telefonica dopo 5 anni è del 60%.
- **facilità di adeguamento** sostituzione, applicazione di accessori, spostamenti, modifiche.
- **celerità d'intervento** nessun impegno pluriennale a scadenza fissa, nessun deposito cauzionale.
- **consegne rapide.**

Altre informazioni potranno darvele i nostri tecnici. INTERPELLATECI!

INTERFONICI - RICERCA PERSONE - DIFFUSIONE SONORA
VENDITA APPARECCHI ED ACCESSORI TELEFONICI



RADIO TELEFONICA SUBALPINA

F. VIGNA - S. GASPARATO & C. - s.a.s.

TORINO - C.so DUCA DEGLI ABRUZZI 6 - TEL. 530300 - 530600

Prefabbricare un' esigenza di oggi



**Al servizio
del progettista
e del committente**



PREFABBRICATI PRECOMPRESSI VIBRATI IN C.A.

ING. PRUNOTTO

12060 GALLO GRINZANE ALBA (CN) TEL. (0173) 62032-62033

LA DISPOSTIONE PLANTIERICA

degli impianti industriali

VITTORIO ZIGNOLI

PARTE II

LA DISPOSIZIONE PLANIMETRICA degli impianti industriali

Definizione - Questo studio, fissati i dati fondamentali di funzionamento, cerca di realizzare, coi mezzi a disposizione, le migliori condizioni tecnico-economiche di produzione per la azienda e per i suoi addetti.

Scopo - Progettare razionalmente uno stabilimento, un reparto, una lavorazione, o anche, nel caso di un ridimensionamento o di una riconversione, perfezionare quanto già esiste, utilizzando nel miglior modo i fabbricati e gli impianti preesistenti.

L'elemento fondamentale è dato dalle caratteristiche della produzione da realizzare, che deve essere valutata nel modo descritto in appresso.

Con riferimento al prodotto

Produzione invariabile di entità costante. - In questo caso il ciclo produttivo è soggetto a variazioni soltanto per superamento tecnico. E' il caso della distillazione degli oli minerali, degli zuccherifici, delle segherie, delle fornaci per mattoni pieni, delle filature di cotone e di lana.

Produzione costante di merce variabile. - Gli impianti e i metodi sono soggetti a variazioni, non soltanto per superamento tecnico, ma anche per le esigenze del mercato, talvolta per quelle della moda. Ciò avviene, ad esempio, per i mobilifici, le tessiture di stoffe, le carrozzerie di lusso.

Produzione variabile. - Gli impianti e i metodi vanno adattati volta a volta alla commessa. Ca-

so dell'elettromeccanica pesante e della meccanica generica.

Con riferimento al ciclo produttivo

Industrie monolinee. - In esse la produzione si sviluppa lungo una linea, come, ad esempio, nelle fornaci di calce, nelle fabbriche di cemento naturale, ecc. (Fig. 1).

Industrie sintetiche o convergenti. - In esse le materie prime e i semilavorati convergono da varie provenienze alla linea finale di costruzione e di montaggio. E' il caso delle fabbriche che producono un solo tipo d'auto, di frigorifero, di radio ecc.

In queste fabbriche è necessario sincronizzare le produzioni singole per evitare arresti nella linea uscente o ingorghi nelle linee convergenti, con formazione di eccessivi depositi; è necessario altresì studiare a fondo gli approvvigionamenti per ridurre al minimo i magazzini e mantenere rapida, ma sicura e costante, la circolazione delle merci (fig. 2).

Industrie analitiche o divergenti. - In esse una materia prima si scinde, lungo il ciclo, in più prodotti, ognuno dei quali prosegue per una sua linea particolare.

E' il caso delle cockerie, delle distillerie di nafta e di molte industrie minerarie e chimiche (fig. 3).

In queste industrie si presentano quasi sempre più chiaramente i problemi economici delle produzioni congiunte.

Industrie sintetiche - analitiche o convergenti-divergenti. - In esse un certo numero di materie prime e di semilavorati convergono ad un nodo intermedio, da cui divergono alcune linee, lungo le quali si fabbricano prodotti diversi, ognuno dei quali si completa su una sua linea particolare (fig. 4).

Industrie a cicli multipli intrecciati. - Sono quelle nelle quali si lavorano prodotti molto diversi, utilizzando in parte le stesse macchine, ma in successioni diverse.

E' il caso normale delle industrie meccaniche generiche e soprattutto della grossa meccanica. (fig. 24).

Con riferimento alla produzione

Produzione in grande serie o in massa. - Va considerata la meccanizzazione più spinta fino, se necessario, all'automazione.

Produzione in serie medie di prodotti variabili. - Si deve considerare una meccanizzazione prudente non specializzata.

Produzione a piccoli lotti. - Come nella meccanica generica, richiede meccanizzazione limitata, operatrici generiche adatte ad ogni tipo di lavoro, e oculato calcolo dei costi reali.

Produzione su commesse singole. - Occorrono operatrici singole con ampia capacità di lavoro e programmi limitati a settori nei quali sia possibile una giusta remunerazione.

Convieni diffidare della tendenza ad estendere il campo del-

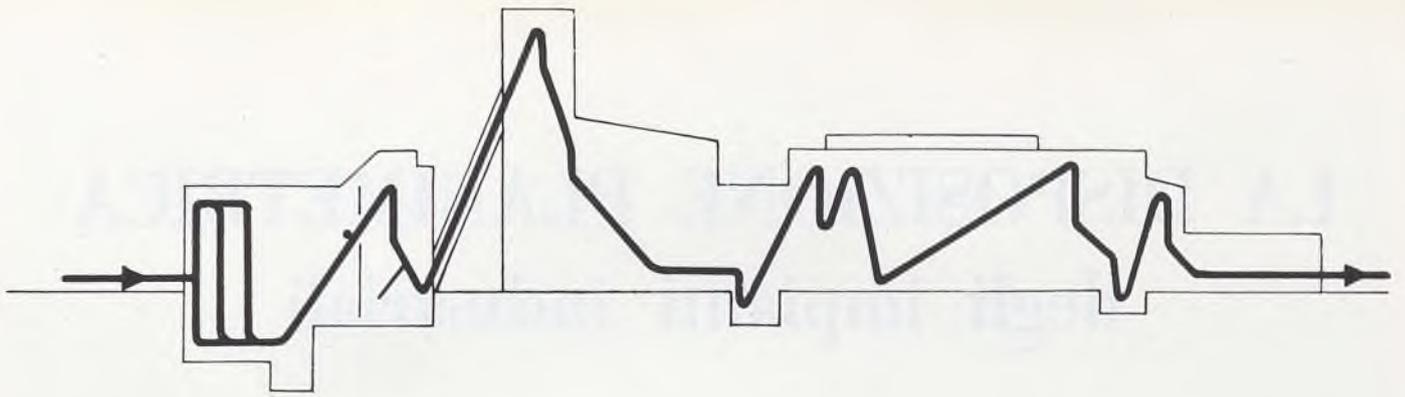


FIG. 1 — Schema di un impianto monolinea - Mulino in Colonia.

la produzione moltiplicando i prodotti. E' molto meglio approfondire un ramo di produzione in modo da poter fornire i migliori prodotti a prezzi ragionevoli e con consegne rapide.

Con riferimento al movimento dei materiali

Il prodotto fondamentale è fermo. - Ad esso affluiscono tutti i materiali necessari e le lavorazioni più importanti si compiono su di esso in posizione invariabile.

E' il caso dei grossi pezzi molto pesanti e ingombranti che richiedono lavorazioni che si possono compiere con macchine utensili mobili. Al limite è il caso delle navi. (Fig. 5).

Il prodotto si muove lungo traiettorie variabili. - E' il caso della meccanica pesante che lavora su commessa. Quasi sem-

pre in questi casi le macchine si dispongono per reparti contenenti operatrici affini. (Fig. 6).

Il prodotto si muove lungo una traiettoria costante. - E' il caso delle lavorazioni continue in grande serie nelle quali le varie macchine sono disposte in linea funzionale corrispondente alla progressione delle operazioni. (Fig. 7).

Nella pratica, molto spesso la soluzione adottata è una combinazione dei tipi fondamentali.

Definizioni delle caratteristiche fondamentali

Se si prende in esame un determinato prodotto e si vuole studiare quale tipo di lavorazione meglio si adatta ad esso, è necessario stabilire anzitutto:

1) le caratteristiche funzionali del prodotto quali sono richieste dal mercato e quali è logico

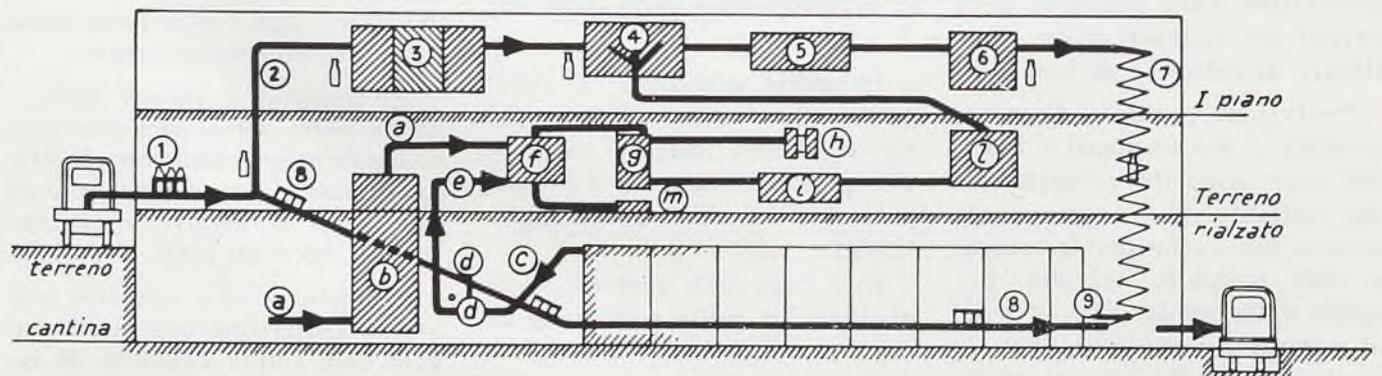
presumere che esso richiederà nel prossimo futuro;

2) il quantitativo da produrre nell'unità di tempo. Questo dato è fondamentale, perché da esso dipende non soltanto il progetto degli impianti di produzione, ma anche quello del prodotto stesso, in quanto, a parità di caratteristiche funzionali, ben diverse sono quelle costruttive, a seconda che si debbano prevedere: costruzioni singole, o in piccola serie, o in media e grande serie;

3) la durata prevedibile d'assorbimento, da parte del mercato del prodotto in esame, in quanto è necessario ammortizzare gli impianti nel periodo così previsto.

Se ci riferiamo, per il momento, ad una semplice lavorazione, e costruiamo un diagramma nel quale, sull'asse delle ascisse, si segna il numero dei pezzi (o le

FIG. 2 — Schema di un impianto convergente sviluppato su 3 piani - Fabbrica di latte zuccherato e umanizzato in Svizzera.



- ① trasportatore cestini e bottiglie vuote - ② elevatore trasportatore bottiglie vuote - ③ lavatrice sterilizzatrice - ④ imbottiglitrice - ⑤ controllo - ⑥ chiusura - ⑦ discensore bottiglie - ⑧ discensore trasportatore cesti - ⑨ caricamento bottiglie nei cesti - a) acqua leggerissima sterilizzata - b) trattamento acqua - c) latte concentrato - d) serbatoi - e) serbatoio per consumo giornaliero - f) diluitore - g) mescolatore - h) CO_2 - l) pastorizzazione - l) deposito della miscela - m) zucche liquido

tonn. di prodotto) da eseguire in un'unità di tempo scelta a piacere (l'ora per le produzioni costanti di piccoli pezzi in numero elevatissimo come viterie, il giorno per calzature, vestiti, ecc., la settimana per prodotti più voluminosi e in serie più ristrette), su quello delle ordinate il costo per pezzo, o tonn., è evidente che, se i pezzi sono pochi, converrà usare un metodo poco più che manuale, e in tal caso il costo, anche se aumenta il numero dei pezzi da produrre nella unità di tempo, non subirà diminuzioni sensibili, in quanto sarà costituito per la maggior parte da mano d'opera. Ma se il numero dei pezzi o delle tonnellate da produrre aumenta, vi sarà un certo limite oltre il quale converrà passare ad un sistema più meccanizzato, per il quale diminuirà l'incidenza della mano d'opera e aumenterà quella del capitale tecnico impegnato. Al posto della curva $a b$ del metodo manuale, avremo la curva $a' b'$ del secondo metodo. Le due curve si incontrano nel punto n_1 , che indicherà sull'asse delle ascisse il numero n_1 per il quale i due metodi economicamente si equivalgono.

Per $n < di n_1$, converrà il metodo manuale, per $n > di n_1$, con-

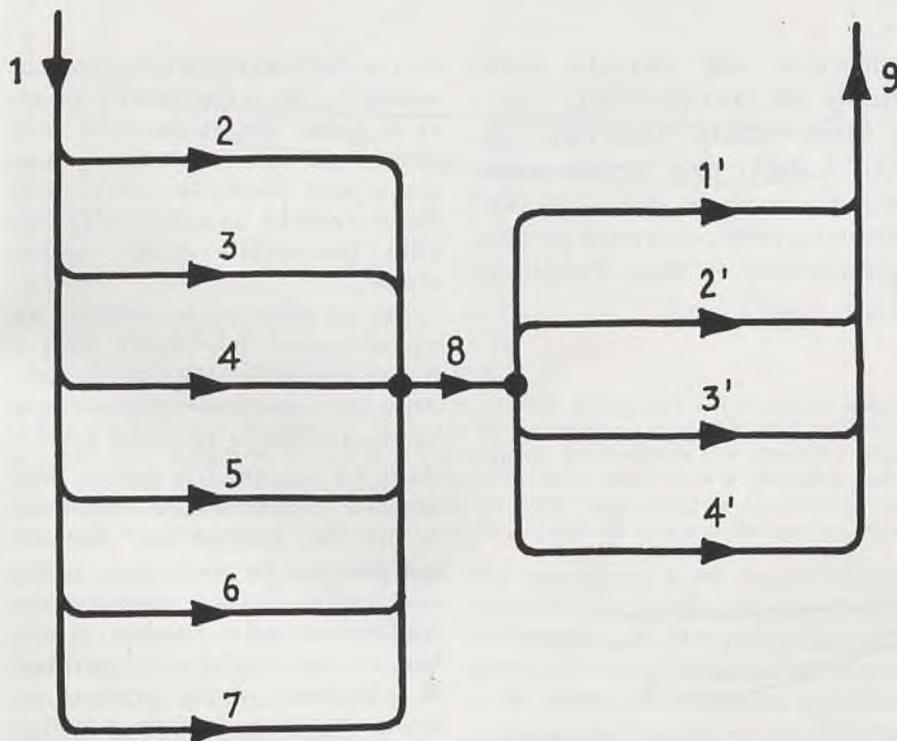


FIG. 4 — Schema di industria convergente-divergente: 1) ingresso materiali; 2) a 7) linee di lavorazione dei particolari; 8) modo di raccolta; 1' 2' 3' 4') linee di lavorazione di 4 prodotti distinti; 9) uscita dei materiali

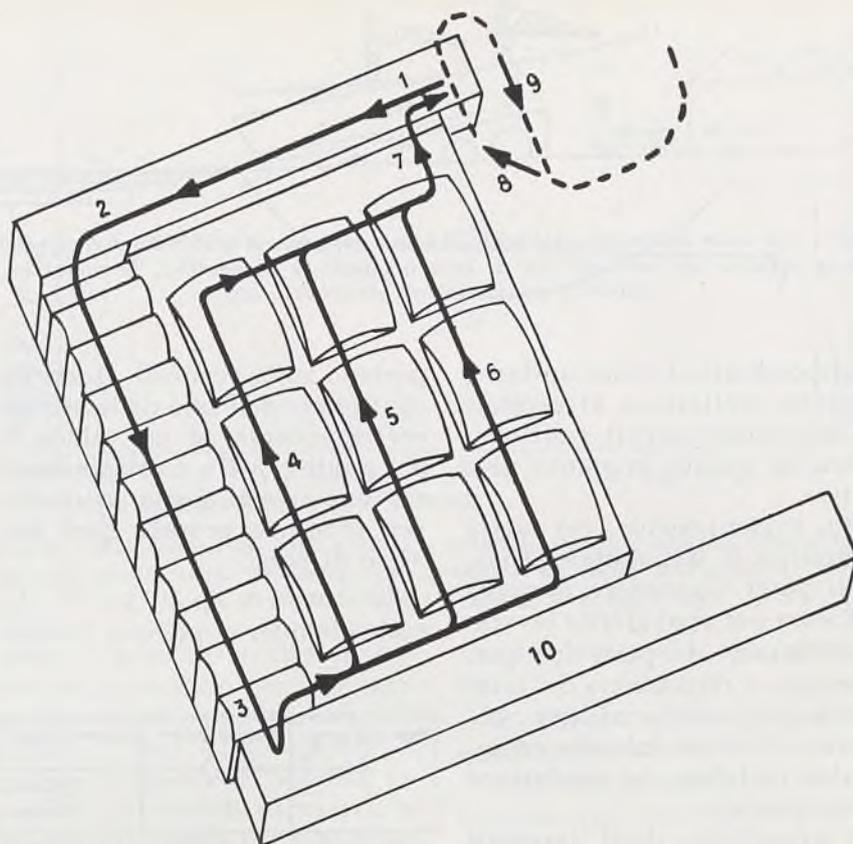


FIG. 3 — Esempio di industria chimica divergente: 1) ingresso materia prima; 2-3) lavorazione preliminare; 4) linea di lavorazione del prodotto a); 5) linea di lavorazione del prodotto b); 6) linea di lavorazione del prodotto c); 7) uscita merci finite (depositi nel sottosuolo); 8-9) anello circolatorio degli autocarri; 10) servizi accessori, uffici, ecc.

verrà quello più meccanizzato. (Fig. 8).

Lo stesso ragionamento vale

per successivi metodi produttivi sempre più automatici, convenienti per produzioni sempre crescenti, non soltanto nel numero n da prodursi nell'unità di tempo, ma anche come durata prevista di assorbimento del mercato, e avremo così le successive curve $a'' b'' \dots a_n'' b_n''$ coi successivi punti d'incontro $n_2'' \dots n_n''$ che definiscono i successivi campi $0-n_1, n_1-n_2, n_2-n_3$, ecc., nei quali convergono i successivi metodi esaminati.

Lo stesso ragionamento si può estendere ad un reparto destinato alla produzione di un certo oggetto da vendere, o da utilizzare nelle operazioni successive, e anche ad un intero stabilimento, in quanto ad ogni tipo di impianto industriale si confà, anche dal punto di vista economico, un determinato ciclo produttivo.

Esaminiamo nella fig. 9 il diagramma di un impianto progettato per una produzione n_x . Il progetto tecnico-economico dovrà fornire anzitutto, per la produzione n_x i tre punti $c_x p_x C_x$

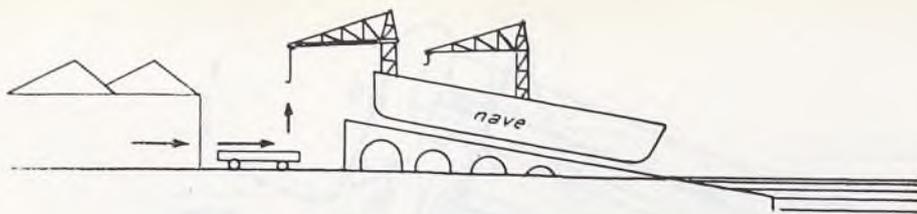


FIG. 5 — La nave costruita sullo scalo. Ad essa affluisce il materiale dall'esterno e dalle officine del cantiere. Su di essa lavorano le chiodatrici, le saldatrici, i tubisti, i meccanici, gli elettricisti, ecc.

corrispondenti al costo unitario, al prezzo unitario e al capitale da impegnare per il funzionamento di questo impianto produttivo.

Ma, evidentemente, ciò non è sufficiente. E' impossibile pensare di poter mantenere costante nell'anno per ogni giorno lavorativo il numero dei pezzi n_x : quasi sempre il dinamismo del mercato, ragioni stagionali, ecc., obbligano a limitare talvolta, ad aumentare talaltra, la produzione media prevista.

Il progettista degli impianti deve quindi stabilire come varino i prezzi, i costi e il capitale impegnato col variare di n .

Vengono così tracciate le curve $c_1, c_2, p_1, p_2, C_1, C_2$, che chiariscono come i prezzi eguagliano i costi nei punti n_{min}, n_{max} corrispondenti alla produzione minima e massima per le quali non si hanno né perdite né guadagni. E' evidente la necessità per la azienda, se si vogliono evitare delle perdite, di mantenere la produzione nella zona n_{min}, n_{max} e possibilmente verso la mezzeria di tale intervallo ove tende ad essere massimo l'utile $n(p-c)$.

Ora è possibile formare un diagramma (fig. 10), nel quale si

portano sulla verticale alzata da ogni punto dell'asse delle ascisse corrispondente ad un valore di n i punti c, p, C , corrispondenti ad uno stabilimento costruito per produrre proprio quel numero di pezzi.

Le curve $c_1, c_2, p_1, p_2, C_1, C_2$ così ottenute, ci offrono l'intero

che nel diagramma vi corrisponde.

Esaminiamo un certo intorno ingrandito del diagramma della fig. 10, nei pressi di n_x riportando su di esso non soltanto i punti c, p, C rilevati dai corrispondenti progetti ma anche le curve relative per ogni progetto. (Fig. 11).

E' facile notare come si possa, ad esempio, utilizzare, per produrre n_x pezzi nell'unità di tempo, sia il complesso progettato per $n_x + 1$ e per $n_x - 1$, sia quelli che ne sono ancor più lontani, purché si utilizzi sempre una curva per la quale l'utile $n_x(p_x - c_x)$ sia ancora accettabile. Per la scelta si deve tener con-

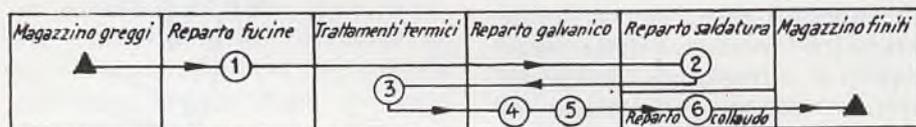


FIG. 6 — Macchine disposte per reparti contenenti operatrici simili. La traiettoria dei pezzi è intrecciata

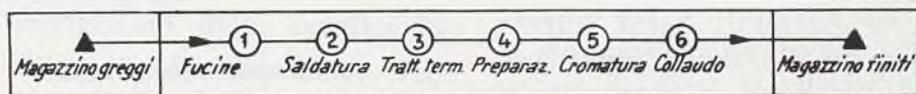


FIG. 7 — Macchine disposte in linea funzionale. I pezzi percorrono una traiettoria lineare rettilinea

panorama del mercato industriale per quel prodotto.

Giova subito osservare che non è detto che, avendo come scopo principale quello di produrre n_x pezzi, convenga proprio prescegliere il tipo d'impianto

non soltanto dell'obiettivo immediato, che è quello di produrre n_x pezzi, ma anche delle previsioni su un eventuale sviluppo o una possibile contrazione delle vendite, nonché sulla durata prevedibile delle vendite stesse.

Se, ad esempio, si prevede un assorbimento per molti anni e un progressivo aumento di produzione, conviene scegliere un impianto adatto per una produzione $n_x + m$, purché per la produzione inizialmente prevista n_x vi sia ancora un discreto margine $n_x(n_x - c_x)$ e, nella eventualità di una temporanea contrazione della vendita, si abbia ancora sufficiente margine di riduzione della produzione senza incorrere in una perdita.

Questa scelta implica però una maggiore disponibilità di capitale. Se essa non esiste, converrà

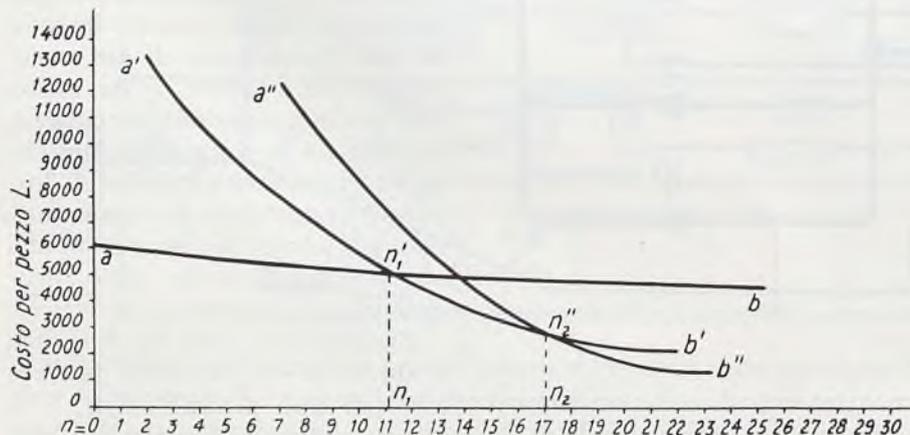


FIG. 8 — Diagramma dei costi unitari in funzione del numero di pezzi prodotti all'ora

limitare l'impianto al valore n_x e anche meno, se necessario.

Definizione dell'impianto

Stabilite così le caratteristiche fondamentali dell'impianto è necessario passare alla determinazione di tutti gli elementi tecnici ed economici di esso.

Lo studio di massima, in base al quale si è presa la decisione, deve aver già fissato con una certa approssimazione: il macchinario da utilizzare, il numero degli addetti diretti e indiretti e quanto altro necessario. Altrimenti non sarebbe stato possibile stabilire i valori di c e di C .

Quando però si passa alla progettazione è necessario scendere ai particolari studiando ognuno di essi in modo da ridurre ulteriormente, per quanto possibile, il costo dell'impianto ma, soprattutto, quello di esercizio.

Generalmente questo studio va compiuto in 5 stadi.

I stadio - Si definisce con un grafico la successione delle operazioni da compiere con le

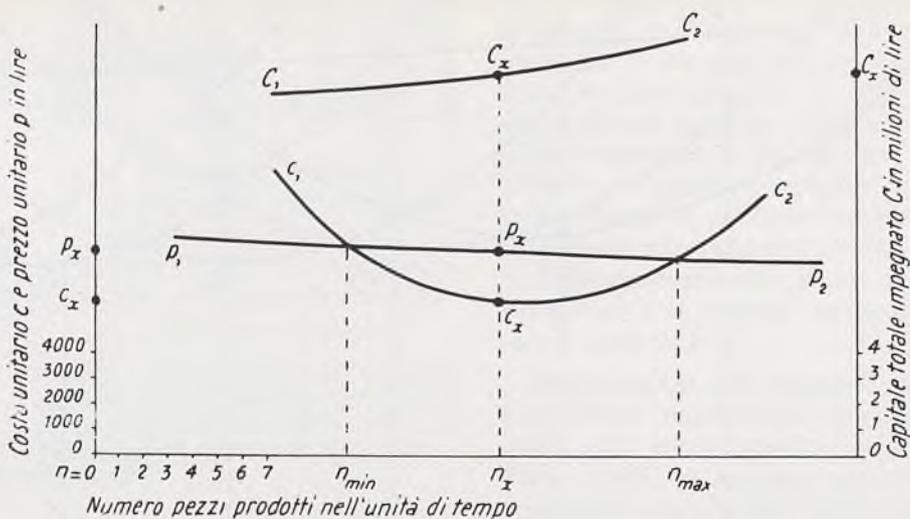


Fig. 9 — Diagramma dei costi unitari c , prezzi unitari p e capitale impegnato C per uno stabilimento progettato per produrre n_x pezzi nell'unità di tempo. L'utile è $n(p - c)$ e nel punto n_x è $n_x(p_x - c_x)$

mero, il peso dei materiali e il volume necessario per contenerli; vicino ad ogni operatrice si indica il tipo e si segnano lo spazio richiesto, la potenza assorbita, gli addetti necessari, la produzione media prudentemente accertata.

II stadio - Si dà una prima forma, per quanto possibile ra-

ne fondamentale del macchinario.

Si debbono contemplare le seguenti alternative:

a) tutte le operazioni si susseguono con una traiettoria costante;

b) si fissano traiettorie costanti soltanto in determinati reparti;

c) si costituiscono tanti reparti specializzati. Ad esempio per un'industria meccanica generica che lavora su commessa: 1) taglio e preparazione; 2) tracciatura; 3) tornitrici e trapanatrici; 4) piallatrici e limatrici; 5) fresatrici; 6) rettificatrici; 7) saldatura e trattamenti termici, e così via;

d) si prevede la possibilità di spostare, in qualche reparto nel quale non è possibile mantenere costante la successione delle operazioni, le macchine, per disporre di tanto in tanto: ad esempio, ogni due settimane, secondo determinati cicli. Ciò si fa per operatrici non eccessivamente pesanti, appoggiate al suolo eventualmente a mezzo ventose, e tenendo a disposizione una gru a ponte sul locale per attuare rapidamente, durante la domenica, i necessari spostamenti;

e) si sceglie un sistema misto, adattando ad ogni reparto quello che sembra il migliore.

III stadio - Si passa all'esame critico di ogni gruppo autonomo, cominciando a pensare alle superfici e ai volumi nonché

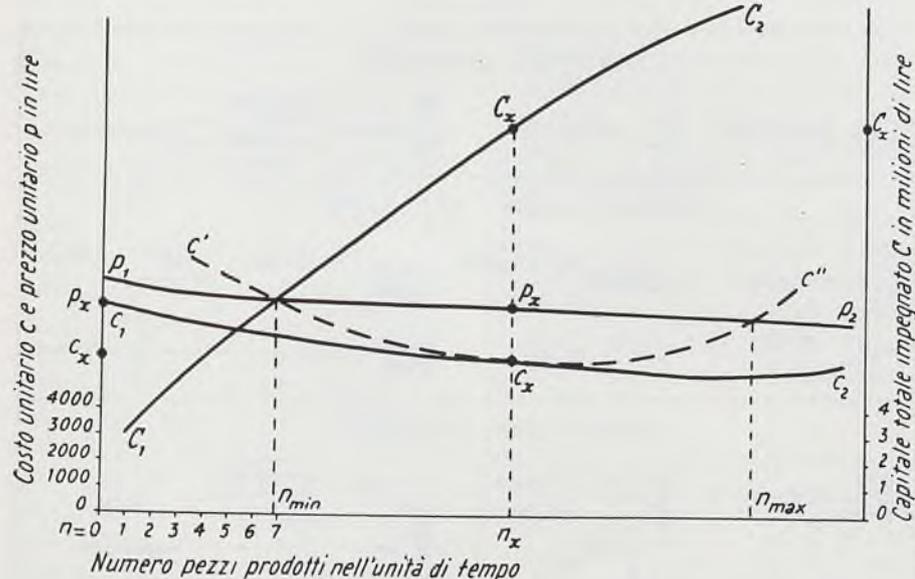


Fig. 10 — Diagramma dei costi, prezzi e capitali impegnati nel mercato industriale del prodotto in esame. C_1, C_2 curva dei costi di un prodotto che ammette la produzione artigianale. C', C_2 curva dei costi di un prodotto che ammette una unità minima di produzione $n_{x \min}$, al di sotto della quale non è possibile realizzare utile. C_1, C'' curva dei costi di un prodotto che ammette la produzione artigianale ma impone un limite superiore $n_{x \max}$ oltre il quale si ha una perdita

diverse operatrici, tenendo conto dei magazzini delle materie prime, dei polmoni di lavorazione (magazzini temporanei), delle macchine, e finalmente dei magazzini dei prodotti finiti.

Vicino ad ogni deposito, temporaneo o no, si segnano il numero realizzabile, alle va-

rie macchine e si segue lungo esse la traiettoria del materiale in lavorazione, del personale che deve, per varie ragioni, circolare, e dei mezzi di trasporto previsti.

A questo punto è necessario prendere una decisione (che del resto può essere ripudiata in un secondo tempo) sulla disposizio-

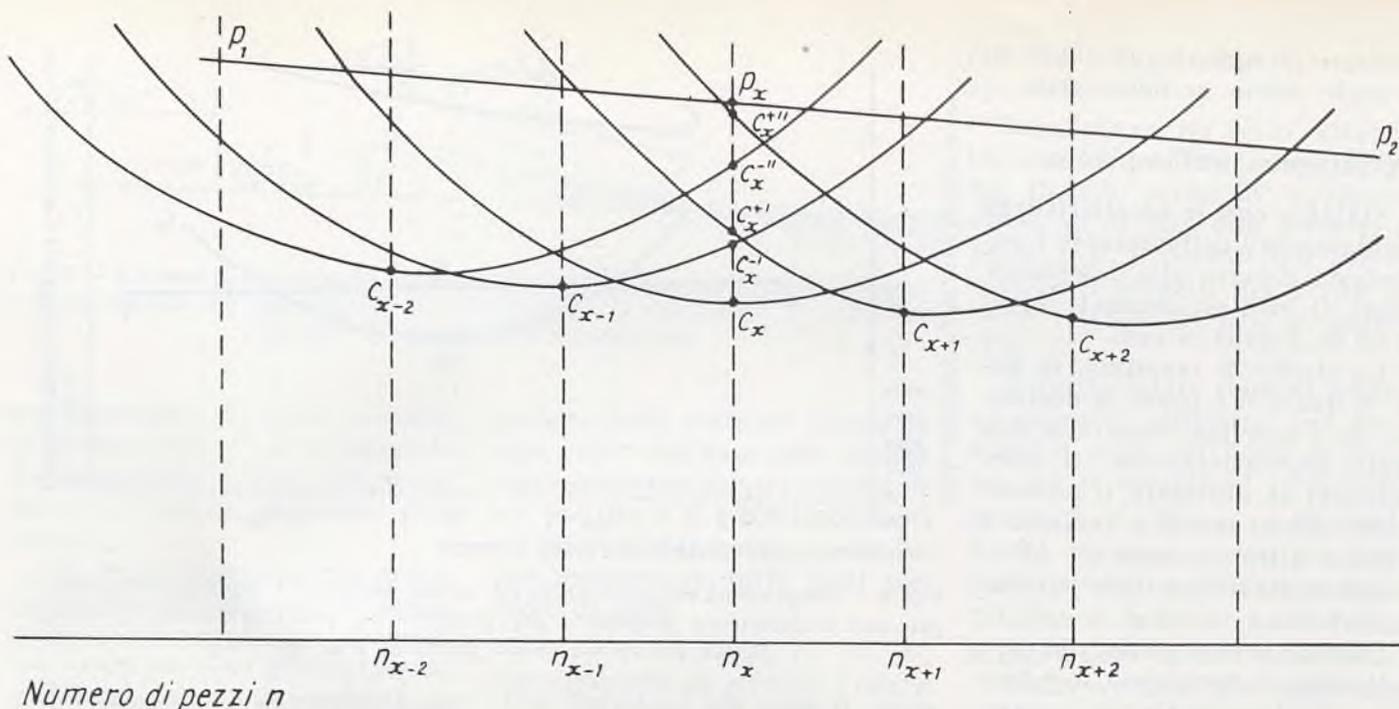


FIG. 11 — *Involuppo dei costi per la produzione nell'unità di tempo di n_{x-2} n_{x-1} n_x n_{x+1} n_{x+2} pezzi in stabilimenti studiati per tali produzioni unitarie. Si vede che producendo n_x pezzi con l'impianto studiato per produrne n_{x-2} il costo è c_x-1 , con l'impianto per n_{x-1} pezzi è c_x-1 per l'impianto per n_{x+1} pezzi è c_x+1 , eccetera*

ai collegamenti (mezzi di trasporto).

In questo stadio ogni gruppo operativo può essere oggetto di varie sistemazioni per scegliere quella che si presenta come più razionale. (Fig. 13).

Qui è necessario por mente alla possibilità di assegnare ad un solo operaio o ad una sola squadra il servizio di più macchine, per il che la distribuzione simmetrica a schiere di tipo militare sarà senz'altro scartata, esaminando invece quei raggruppamenti che possono consentire con minima fatica lo spostamento dell'operatore e del materiale dall'una all'altra macchina (fig. 14).

In questo stadio è ancora necessario considerare che la tendenza più recente porta a rendere minima la permanenza dei materiali lungo le linee di lavorazione e nei depositi, per rendere molto rapida la circolazione delle merci e del denaro in esse impegnato.

Seguendo il flusso produttivo è anche necessario esaminare se non si presentino delle strozzature a causa delle quali un complesso di macchine o di operai debba lavorare con una saturazione bassa per tenere il passo con una macchina o con un reparto che hanno una potenziali-

tà produttiva insufficiente; è opportuno assicurare, per quanto è possibile, una saturazione almeno dell'80 per cento a tutte le macchine e a tutti gli operai.

IV stadio - Si passa ora ad un primo tentativo di sistemazione reale, tenendo conto delle esigenze del terreno e del fabbricato.

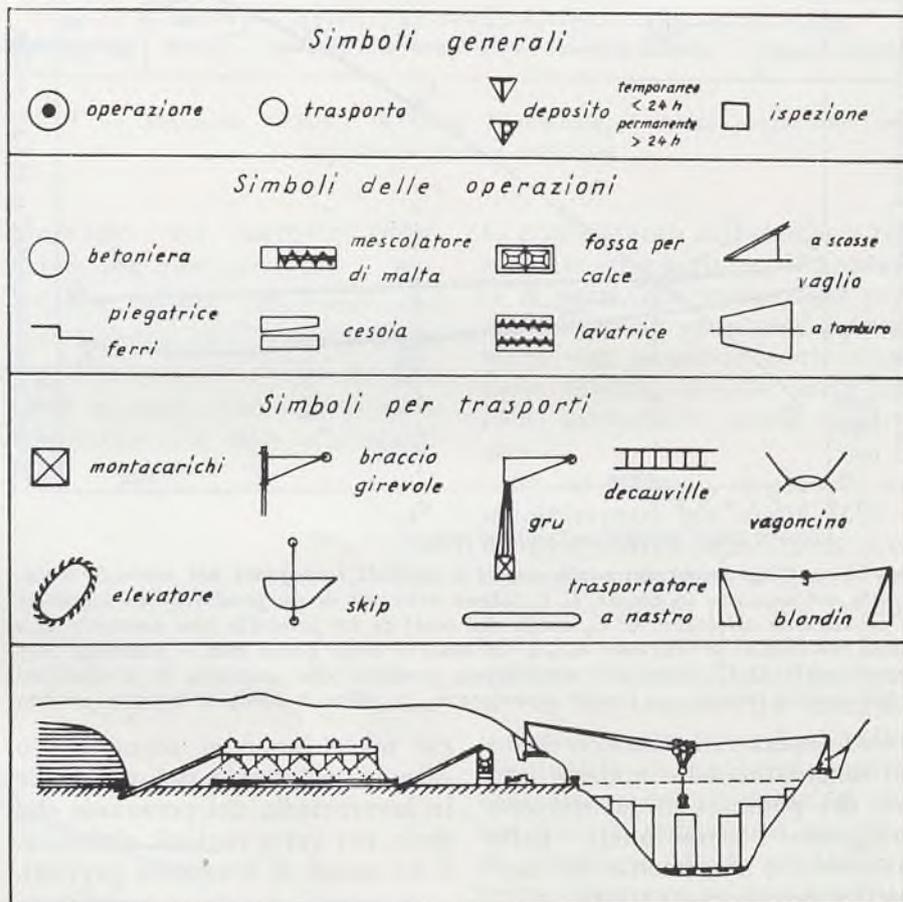
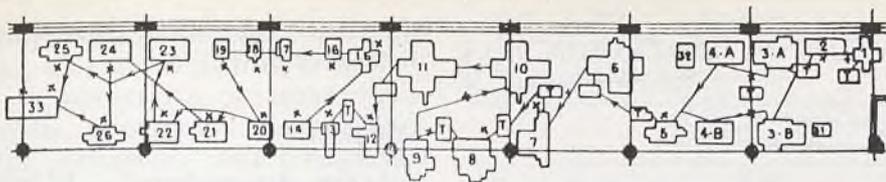


FIG. 12 — *Esempio di simboli generali usati per gli schemi funzionali e dei simboli speciali usati nelle costruzioni edilizie. Esempio di uno schema funzionale di impianto di cantiere per la costruzione di una diga.*



a) Disposizione razionale.

— collegamenti mediante scivoli (movimento automatico).

b) Disposizione regolare usuale.

T, carrelli per trasporto manuale.

X, rappresenta l'operaio.

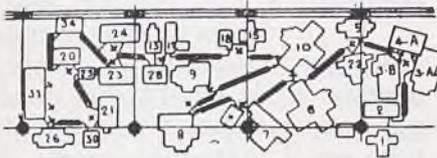


FIG. 13 — Razionalizzazione della disposizione delle macchine in un reparto della Cadillac Motor Car Co.

La nuova disposizione ha permesso di risparmiare 10 operai su 27 e circa il 40 % dello spazio occupato.

In questo stadio è molto utile l'uso, prima, di sagome per lo studio della migliore disposizione possibile (fig. 15), poi di modelli spaziali per tener conto dei volumi (fig. 16).

Per l'uso delle sagome e dei modelli esiste ormai una tecnica molto avanzata.

Quando necessita far presto si disegna una prima pianta approssimativa con tutte le sagome delle macchine in scala (di solito 1/50), si tira una copia *ozalid* in carta pesante e si ritagliano le sagome con le forbici. Se si ritiene di dover usare le sagome a lungo, o si tira il disegno su cartoncino *bristol* (quando si trova), oppure si incollano le sagome di carta sul cartoncino stesso prima di ritagliarle.

Vi sono macchine che hanno ingombro molto diverso alla base e ad una certa altezza. E' in tal caso conveniente disegnare i due ingombri contornando in nero quello di base, in rosso o punteggiato quello superiore e segnando anche a quale quota dal pavimento si trova. E' così possibile tener conto delle varie condizioni ai diversi livelli.

Quando si usano macchine di categorie diverse è utile distinguerle colorandole; spesso si usa l'arancione per le macchine utensili, il giallo per quelle di sollevamento e trasporto, il verde per quelle da calcolo e da ufficio, nonché per i banchi, i cavalletti, i piani d'appoggio, ecc.

I modelli spaziali di macchine si possono fare ancora nella scala 1/50, intagliando del legno dolce. Alcuni costruttori però

forniscono i modelli in scala delle loro macchine, eseguiti in fusioni di lega leggera sotto pressione, il che consente grande precisione e finezza di dettagli.

Variando opportunamente la disposizione si cerca quella che appare migliore.

Se non si vuole ricorrere alle sagome e ai modelli spaziali, è possibile ottenere dei risultati sufficienti per gli impianti semplici; prima col solo disegno sui vari piani, poi con una prospettiva assonometrica che consente di segnare le traiettorie dei materiali in lavorazione e degli operai e di rilevare molte anomalie eliminabili.

La fig. 17 illustra lo schema di una produzione semplice monolinea. La fig. 18 descrive il grafico relativo alla disposizione inizialmente prevista; la fig. 19 un grafico doppio nel quale si met-

tono a confronto due disposizioni diverse, e cioè quella della figura 18 e un perfezionamento ulteriore; la figura 20 mostra la disposizione spaziale relativa al primo metodo; la fig. 21 quella relativa al secondo metodo. Risulta chiaro il perfezionamento. Le schede danno modo di seguire l'utilizzazione dei segni convenzionali e il sistema usato per fare i confronti.

Sistemazioni più comuni - Le figg. 22-27 mostrano i percorsi usati più comunemente per il flusso delle lavorazioni quando è possibile dare a tale flusso una traiettoria costante.

Frequentemente però i percorsi anziché essere costanti sono più o meno variabili a seconda del pezzo da lavorare. E' molto utile in tal caso un grafico analogo a quello della fig. 28, che consente di studiare le traiettorie più frequenti per definire, in base ai dati statistici, la distribuzione più consigliabile per ridurre al minimo il costo totale di lavorazione.

Lavorazioni molto variabili

Se le lavorazioni sono molto variabili, lo studio della sistemazione più conveniente si complica.

Si comincia ad operare su grafici del genere di quello della fig. 28, destinandone uno per ciascuna delle seguenti classi:

1) prodotti che richiedono le stesse operazioni con la stessa successione;

2) prodotti che richiedono le

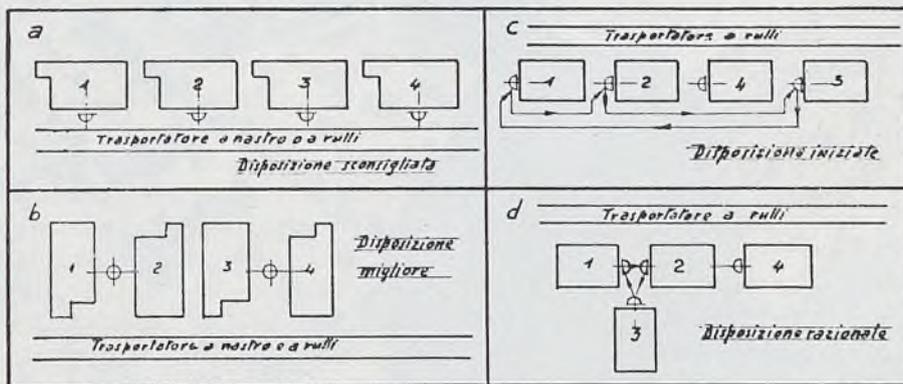


FIG. 14 — Disposizioni di macchine favorevoli alla saturazione della operosità degli addetti. Si osservi che le macchine in linea come in a) richiedono dall'operatore una rotazione di 180° per prendere e riporre i pezzi sul trasportatore e un lungo percorso per passare da una macchina all'altra. Questi difetti sono eliminati colla disposizione b). Le 4 macchine della disposizione c) disposte come in d) possono essere servite agevolmente da un solo operaio.

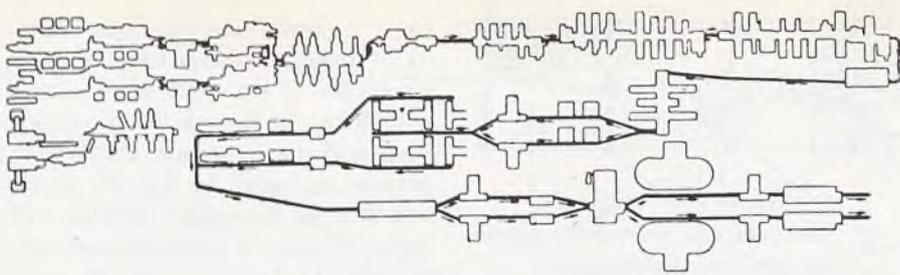


Fig. 15 — Studio mediante sagome per la disposizione dei barchi a transfer della Buick.

stesse macchine con le stesse successioni ma saltandone alcune;

3) prodotti che richiedono cicli molto speciali.

Dopo aver disegnato i diagrammi precedenti è possibile passare ai due grafici conclusivi: il primo (fig. 29) raggruppa il numero di ogni prodotto, le operazioni richieste e le totalizza; il secondo (fig. 30) fornisce il numero dei pezzi da trasportare da un posto di lavoro all'altro.

Con l'aiuto di questi grafici è possibile studiare la sistemazione che implica la minor spesa di maneggio e trasporto, i relativi pesi e la disposizione delle macchine.

Studi ulteriori - Quando coi metodi descritti si è giunti ad una sistemazione generale che si ritiene soddisfacente, è necessario passare allo studio di molti accessori, alcuni dei quali riguardano soprattutto il fabbricato e i suoi impianti generali;

altri invece i mezzi di giacenza e di trasporto.

Trasporti

Arrivo dei materiali - E' necessario studiare il collegamento della fabbrica con le vie di comunicazione che possono essere: la strada ferrata, la strada ordinaria (quest'ultima sempre necessaria), le vie d'acqua interne o marittime (specialmente utili per i materiali pesanti in massa, come minerali di ferro, rottami, carboni, ecc.), eventualmente i trasporti aerei (usati ora in alcune miniere di materiali preziosi in zone difficili).

Magazzini e mezzi di giacenza - Sebbene la tendenza odierna, del resto molto commendevole, sia quella di ridurre al minimo i magazzini e i capitali in essi impiegati, è sempre necessario prevedere con una certa larghezza, anche per eventuali

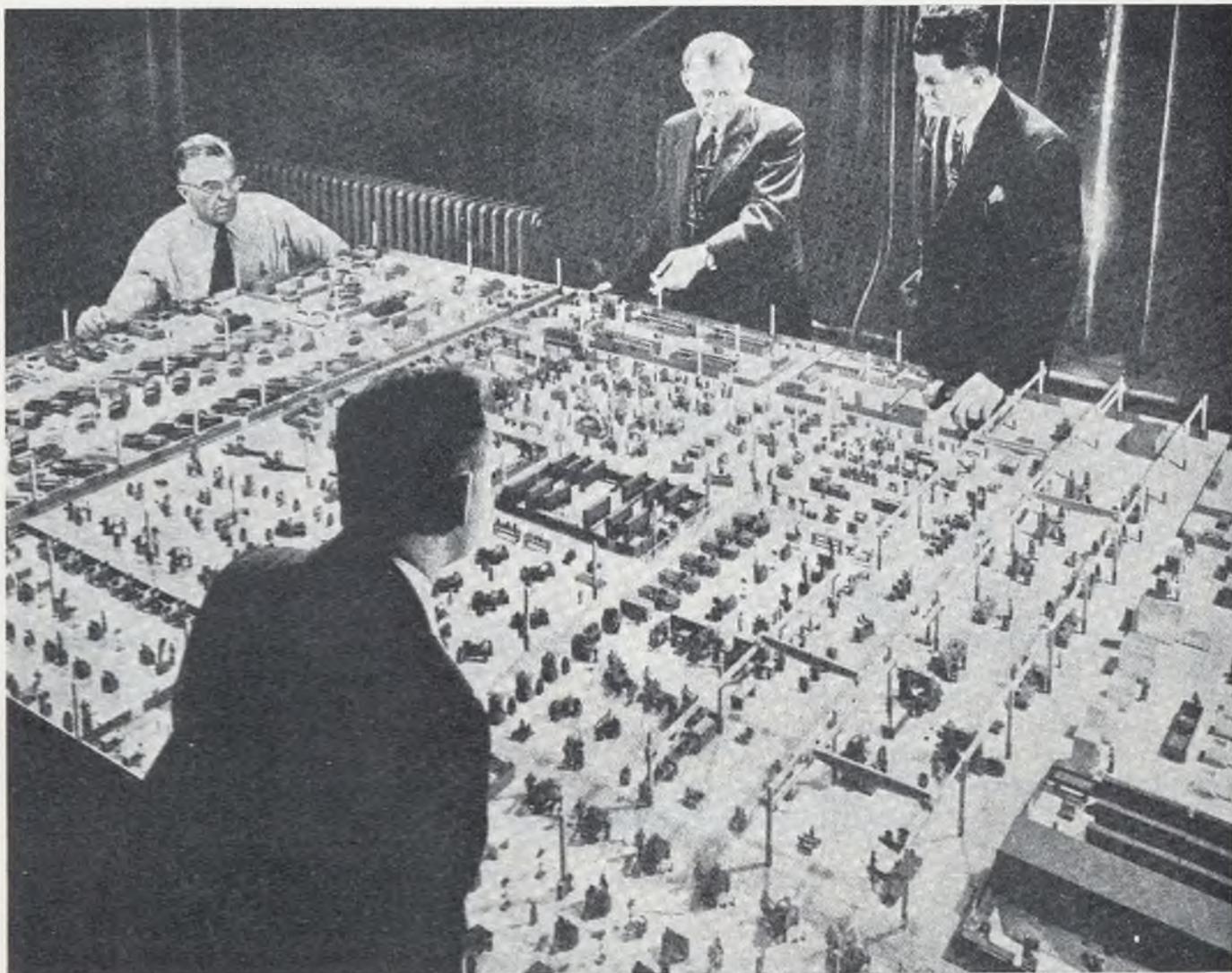


Fig. 16 — Uso di modelli spaziali per lo studio di una disposizione di macchinari in un piano.

imprevisti, sia i mezzi di giacenza, sia i mezzi di trasporto.

E' necessario, per quanto possibile, eliminare i maneggi inutili, conservare bene il materiale evitandone degradazioni, mantenere, se possibile, il materiale sempre nello stesso contenitore sia nei magazzini che lungo le linee di lavorazione.

Recentemente si sono usati come magazzini elementi di trasportatore caricati prima del turno di lavoro, in modo che il materiale depositato corrisponda al fabbisogno di una giornata, o anche di mezza giornata. Durante il lavoro il trasportatore scarica il materiale a ritmo costante avanti alle operatrici.

Trasporto dei prodotti in lavorazione - Lo studio accurato di tali trasporti deve indicare come sia possibile eseguirli coi mezzi più economici, più flessibili e passibili di saturazione completa.

Trasporto dei prodotti e sottoprodotti fuori dalla fabbrica - Il problema dei trasporti aziendali si conclude con lo studio dell'allontanamento dalla fabbrica di quanto, avendo completato il suo ciclo, deve essere portato ai mercati o alle discariche dei rifiuti.

Ciò riguarda sia la merce finita che i rottami, gli scarti, gli sfridi, i rifiuti.

Studio dei trasporti interni

Lo studio dei trasporti interni s'inizia col calcolo dell'incidenza del loro costo sul costo di fabbricazione. Non infrequentemente per poter mandare al mercato una tonnellata di prodotto finito è necessario maneggiare e trasportare decine e decine di tonnellate di merci gregge semilavorate e lavorate.

La conoscenza dell'incidenza dei costi dei trasporti sul costo del prodotto è fondamentale. E' necessario verificare:

1) se i risultati raggiunti con lo studio migliorano i costi abituali che dovrebbero essere noti. Si sa, ad esempio, che in una fornace di mattoni pieni i trasporti interni ed esterni fino al cantiere edilizio ammontano spesso al 50 per cento del prezzo di vendita, che in una filatura di cotone moderna i trasporti ri-

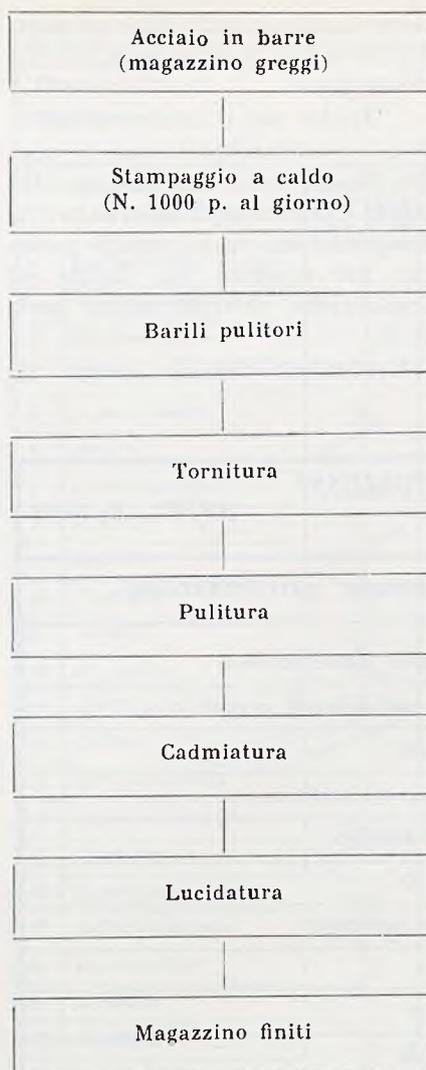


FIG. 17 — Schema di una produzione semplice monolinea.

chiedono, di solo operaio, il 16 per cento circa delle ore totali impiegate, che nelle tessiture di cotone con telai automatici l'incidenza scende al 4,7 per cento; in uno stabilimento laniero moderno l'incidenza è attorno al 4,4 per cento in filatura e al 3,3 per cento in tessitura; negli iutifici è del 5,4 per cento circa, e finalmente nei setifici scende all'1 per cento circa, sempre della mano d'opera totale impegnata.

Parimenti di quasi tutte le industrie sono noti i costi dei trasporti medi; è quindi possibile, al progettista industriale avvertito, assicurarsi che il suo studio comporti un miglioramento, non un peggioramento sulla media raggiunta negli impianti più recenti;

2) quali vantaggi possono ancora ottenersi spingendo più avanti l'indagine per migliorare i collegamenti, e se i miglioramenti sperati compensano even-

tuali maggiori spese d'impianto. Se l'incidenza dei costi dei trasporti è elevata, ad esempio attorno al 50 per cento del costo di fabbricazione, una riduzione del 10 per cento porta ad una economia del 5 per cento circa sul costo totale, il che può rappresentare benissimo l'utile di esercizio; se invece l'incidenza è bassa, attorno all'1 per cento come nei setifici, ulteriori riduzioni hanno poco peso sul costo totale e non compensano maggiori immobilizzi.

Ad esempio di come va condotto uno studio dei vari sistemi possibili per i trasporti in un determinato settore produttivo, si riproduce qui parte dell'indagine eseguita da chi scrive per determinare i costi del trasporto del cotto dalla fornace ai cantieri edilizi che utilizzano il materiale laterizio.

Trasporto dei laterizi nello stabilimento e ai cantieri edili

Lo schema delle operazioni è dato dalla tab. 1.

Per applicare a questo studio i metodi abituali della tecnica della produzione si useranno i seguenti segni convenzionali:

(2) indica un'operazione, il numero arabo tra parentesi tonda si riferisce al numero d'ordine della operazione stessa;

* indica un trasporto;

■ indica un deposito temporaneo;

● indica un deposito permanente (a);

[II] indica un'operazione di controllo, il numero romano nell'interno delle parentesi quadre si riferisce al numero d'ordine del controllo.

Analizzando lo schema della fig. 31 e tenendo conto della forma più generale possibile delle operazioni da compiere si arriva alla tabella I.

Appare a prima vista:

1) che converrebbe stabilire un gruppo unificato di volume costante capace di rimanere invariato dall'operazione (1) alla

(a) Per ragioni tipografiche sono stati usati simboli inconsueti.

operazione (7) e così composto da rendere, per ogni tipo di laterizio, immediata la verifica del numero dei pezzi onde limitare al minimo, anzi, praticamente annullare, i controlli;

2) che sarebbe desiderabile poter maneggiare, nei carichi e negli scarichi, non i singoli pezzi ma un gruppo completo, comprendente il maggior numero possibile di pezzi compatibil-

mente colla portata dei vari mezzi disponibili e col sicuro e facile maneggio;

3) che per il carico su autocarro o rimorchio e per lo scarico dagli stessi sarebbe desiderabile operare sull'intero carico composto da vari gruppi unificati per rendere più rapide ed economiche le operazioni suddette.

Evidentemente lo scopo di

queste ricerche è puramente economico e perciò il confronto fra i vari sistemi adottati o proposti va fatto tenendo conto esclusivamente dei fattori economici in quanto la sostituzione di un'operazione manuale con un'operazione meccanica, o quella di una operazione meccanica con altra più complessa, può giustificarsi soltanto se, tenuto conto di tutti gli oneri, la sostituzione risulta economicamente favorevole.

Gioverà osservare subito che nella ricerca dei sistemi operativi più convenienti si possono perseguire due diversi scopi economici:

1) organizzare il lavoro in modo da rendere minimo il capitale impiegato. E' questo, spesso, il caso delle piccole aziende che non possono o non vogliono immobilizzare gli ingenti capitali talvolta necessari per una razionalizzazione completa, e sono perciò disposte ad accettare un maggior costo di produzione per limitare gli immobilizzi;

2) organizzare il lavoro in modo da rendere minimo il costo di produzione, indipendentemente dal capitale impegnato, del quale naturalmente si tien conto per l'ammortamento e l'interesse.

Per poter procedere a fruttuosi confronti di vari sistemi, dai più semplici ai più complessi, onde paragonarne i vantaggi e gli inconvenienti, i costi e gli immobilizzi, è utile stabilire anzitutto in linea di massima i tempi e i costi di varie operazioni semplici.

E' qui necessario ricordare che non esistono dati precisi per tali calcoli che del resto variano notevolmente in base alle condizioni locali dei costi della mano d'opera, dei materiali e dell'energia, alla disponibilità o meno di mano d'opera già impegnata per altre operazioni ma non saturata, ai tempi perduti per la regolarità delle spedizioni, per il clima, ecc.

Nel caso particolare che ci occupa poi, sono variabili il quantitativo giornaliero asportato, i tipi prodotti, la percentuale di ognuno di essi e finalmente il quantitativo di laterizi da tenere in deposito negli eventuali mezzi di giacenza.

| Commissa N°2050 | | DIAGRAMMA DI LAVORAZIONE | | DATA: 2-III-49 |
|-----------------|--------------------|-------------------------------|---------|------------------------------|
| REPARTO: IX | | | | |
| DISTANZA METRI | MEZZI DI TRASPORTO | DEPOSITO | SIMBOLO | DESCRIZIONE DELL'OPERAZIONE |
| 5 | Cm | | ○ | Ricevimento barre acciaio |
| | | I | ▼ | Impilate nel deposito greggi |
| 9 | Cm | | ○ | Alla fucina |
| | | II | ① | Stampaggio a caldo |
| 9 | Cm | | ○ | Ai barili pulitrici |
| | | III | ② | Sbavatrici |
| 24 | Cm+E | | ○ | Al piano superiore |
| | | IV | ▼ | In attesa |
| | | IV | ③ | Tornitura |
| 17 | Cm | | ○ | Al controllo |
| | | V | ④ | Controllo |
| 8 | Cm+E | | ○ | Alle pulitrici |
| | | III | ▼ | Deposito pulitrici |
| | | III | ⑤ | Pulitrici |
| 22 | Cm | | ○ | Alla cadmiatura |
| | | VI | ▼ | Deposito cadmiatura |
| | | VI | ⑥ | Cadmiatura |
| 28 | Cm+E | | ○ | Al controllo |
| | | V | ⑦ | Controllo galvanico |
| 8 | Cm | | ○ | Alla lucidatura |
| | | IV | ⑧ | Lucidatura |
| 12 | Cm | | ○ | Al controllo |
| | | V | ⑨ | Controllo finiti |
| 15 | Cm+E | | ○ | Al magazzino finiti |
| | | VII | ▼ | Magazzino finiti |
| | | | ○ | Alla spedizione |
| 163 | Totale | | | |
| | | SEGGI CONVENZIONALI | | SIGLE TRASPORTI |
| | | ⑩ Operazione n° di trasformaz | | Cm Carrello a mano |
| | | ⑪ Operazione m° di controllo | | Ce Carrello elettrico |
| | | ○ Trasporto | | E Elevatore |
| | | ▼ Deposito permanente | | T Trasportatore |
| | | ▽ Deposito temporaneo | | Sg Scivolo a gravità |

FIG. 18 — Scheda relativa allo schema della fig. 17 e allo schema spaziale della figura 20

Però questa variabilità non ha grande importanza ai fini dello studio che ci occupa in quanto ognuno, seguendo la via tracciata e adattando il metodo esposto ai dati del suo caso particolare può rapidamente arrivare ai risultati che gli interessano.

Si è supposto di operare per una fornace che produca circa 70 tonn. di laterizi vari al giorno corrispondenti a 120 mc. circa.

Gioverà, per finire, l'osservazione che anche se i dati di tempo e di costo stabiliti non sono esatti (e non potrebbero esserlo per la grande variabilità dei casi) però le conclusioni finali risultano ugualmente attendibili in quanto si tratta di confrontare vari sistemi di maneggio e trasporto il cui conteggio è fatto con lo stesso metodo e con le stesse cifre basi, cosicché i rapporti rimangono sufficientemente approssimati anche se non lo sono completamente le cifre di base.

Maneggio di 1000 pezzi di laterizio

In base a dati rilevati si ritiene di poter assumere il tempo in ore-uomo necessario per il maneggio di 1000 pezzi di laterizio

$$0 = C_1 C_2 C_3 C_4$$

essendo:

C_1 = coefficiente dipendente dalla facilità di formazione del deposito:

$C_1 = 0,8$ per carriole

$C_1 = 0,9$ per carretti a mano da circa 1mc.

$C_1 = 1$ per formazione di pile su palette o mediante bacchette di ferro in mattoni appositamente forati o su piedini per presa pneumatica

$C_1 = 1,1$ per autocarri o rimorchi o carri ferroviari o containers

C_2 = coefficiente dipendente dal materiale maneggiato:

$C_2 = 0,4$ per mattoni pieni lanciati alla rinfusa

$C_2 = 0,9$ per mattoni pieni in pile regolari

$C_2 = 0,84$ per mattoni a due fori

$C_2 = 0,87$ per mattoni a 4 e 6 fori

| PROPOSTA DI PERFEZIONAMENTO DI LAVORAZIONE | | RIEPILOGO | | OPERAZIONE | | | |
|--|------------------------------|-------------------|-----------|--------------|----------|--------------------------------------|-------------|
| Commissione N° 2050 Data 2-III-49 | | Distanze | | Lavorazioni: | I Metodo | II Metodo | Riparazioni |
| REPARTO: IX | | Immediato m. 463 | | Controlli: | 6 | 6 | - |
| | | Immediato m. 93 | | Trasporti: | 3 | 3 | - |
| | | Riparazioni m. 50 | | Depositi: | 42 | 42 | - |
| | | | | Totale | 5 | 2 | 3 |
| | | | | | 26 | 23 | 3 |
| I METODO Schema spaziale fig. 42 | | Olivetti | Controlli | Trasporti | Depositi | II METODO Schema spaziale fig. 43 | |
| 1 | Ricevimento barre acciaio | | | 5 | 5 | Ricevimento barre acciaio | 1 |
| 2 | impilate nel deposito greggi | | | | | impilate nei depositi greggi | 2 |
| 3 | alla fucina | | | 9 | 9 | alle fucine | 3 |
| 4 | stampaggio a caldo | | | | | stampaggio a caldo | 4 |
| 5 | ai barili pulitori | | | 9 | 28 | ai barili pulitori piano sup. | 5 |
| 6 | sbaratrici | | | | | sbaratrici | 6 |
| 7 | al piano superiore | | | 24 | 8 | ai forni | 7 |
| 8 | in attesa | | | | | fornitura | 8 |
| 9 | fornitura | | | | 5 | al controllo | 9 |
| 10 | al controllo | | | 17 | | controllo | 10 |
| 11 | controllo | | | | 5 | alla pulitura | 11 |
| 12 | alle pulitrici | | | 8 | | pulitura | 12 |
| 13 | deposito pulitrici | | | | 5 | alla radmiatura | 13 |
| 14 | pulitura | | | | | radmiatura | 14 |
| 15 | alla radmiatura | | | 22 | 5 | al controllo | 15 |
| 16 | deposito radmiatura | | | | | controllo galvanico | 16 |
| 17 | radmiatura | | | | 6 | alla lucidatura | 17 |
| 18 | al controllo | | | 28 | | lucidatura | 18 |
| 19 | controllo galvanico | | | | 5 | al controllo | 19 |
| 20 | alla lucidatura | | | 6 | | controllo finiti | 20 |
| 21 | lucidatura | | | | 4 | al magazzino finiti | 21 |
| 22 | al controllo | | | 8 | | magazzino finiti | 22 |
| 23 | controllo finiti | | | | 8 | alla spedizione | 23 |
| 24 | al magazzino finiti | | | 12 | | | 24 |
| 25 | magazzino finiti | | | | | | 25 |
| 26 | alla spedizione | | | 15 | | | 26 |
| 27 | | | | | | | 27 |
| | | Totale m. | | 163 | 93 | | |

Fig. 19 — Scheda doppia relativa allo schema della fig. 17 e alla modifica della fig. 18.

$C_2 = 1,4$ per tegole piane

$C_2 = 2,7$ per blocchi forati A

$C_2 = 4$ per blocchi forati B

$C_2 = 3,5$ per blocchi forati C

$C_2 = 3,4$ per blocchi forati D

Per i blocchi forati tipi A, B, C, D si veda la fig. 32.

C_3 = coefficiente che dipende dal tipo di operazione:

$C_3 = 0,9$ per il carico dal forno al mezzo vicino

$C_3 = 1$ per il carico di depositi in pile o lo scarico nelle immediate vicinanze

$C_3 = 1,05$ per scarico da autocarri e impilamento fino a 10 m. di distanza.

Se lo scarico avviene mediante rovesciamento della cassa dell'automezzo, come si usa talvolta per i mattoni pieni in costruzioni che non abbisognano di particolare accuratezza, lo scarico è quasi istantaneo.

C_1 = coefficiente dipendente dalle operazioni accessorie:

$C_1 = 1$ se non vi sono operazioni accessorie

$C_1 = 1,05$ se si debbono compiere il controllo numerico e lo scarto dei rotti.

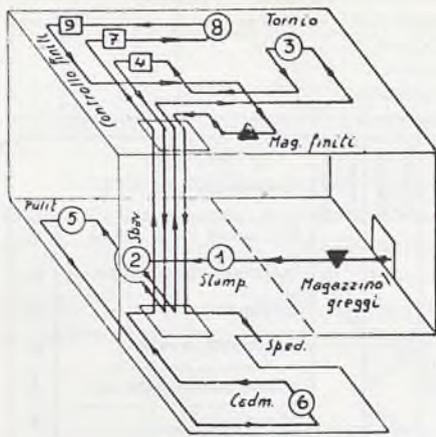


FIG. 20 — Schema spaziale per la lavorazione del diagramma fig. 17.

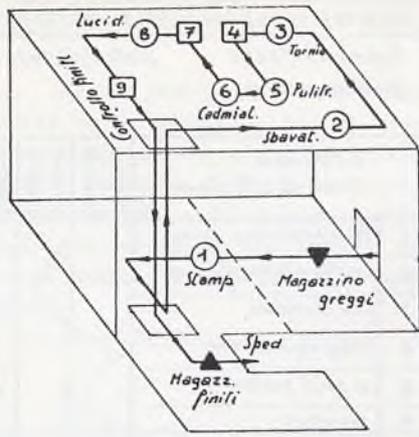


FIG. 21 — Schema spaziale per la modifica della fig. 19.

Se si tiene conto dei tempi perduti fra un carico e l'altro e delle saturazioni forzatamente imperfette della mano d'opera per l'irregolarità del traffico, i valori dei tempi anzidetti si debbono moltiplicare per un ulteriore coefficiente di adeguamento che può ricavarsi dalla statistica annua delle ore pagate per i vari laterizi maneggiati.

In condizioni medie di lavoro per fornaci importanti e bene organizzate tale coefficiente è attorno a 1,5. Io ho creduto opportuno di non tener conto di questo ultimo perchè varia da fornace a fornace, comunque esso tende a rendere più favorevoli i risultati economici ottenuti con mezzi meccanici.

Laterizi presi in esame

Sono stati presi in esame sol-

proposte dalle ricerche svedesi, per rendere più facili i confronti.

Il costo dell'ora di manovale è assunto in L. 270, a tale cifra si aggiungano L. 10 per tener-

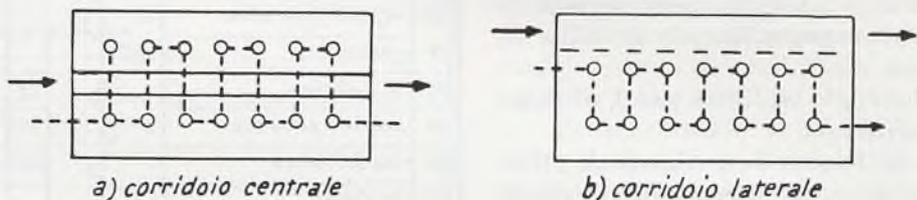


FIG. 22 — Avanzamento a zig-zag. In questo caso il corridoio centrale è da evitare perchè interrompe il flusso del materiale e allontana le macchine. L'avanzamento a zig-zag è però poco consigliabile

conto dell'ammortamento e della manutenzione delle carriole.

La tabella II fornisce i costi per il carico di 1000 pezzi di laterizio su carriole nel forno.

La tabella III si riferisce in-

tabella V occorrono le seguenti spese:

| | | |
|--|----|----|
| energia elettrica | L. | 1 |
| moietta da 16 x 0,8 Kg. 0,35 a L. 180 | » | 63 |
| 8 minuti di manovale (4 minuti di due persone) cioè (270 : 60) 8 | » | 36 |
| ammortamento del posto di lavoro mobile per formare il pacco su L. 200.000 di capitale | » | 3 |
| riparazione e manutenzione attrezzi | » | 2 |

Totale per pacco L. 105

Per abbondanza si è ammesso che sia possibile formare il pacco al forno per evitare un doppio maneggio il che renderebbe il sistema troppo costoso. E' però dubbio che la formazione dei pacchi possa farsi durante lo scarico, data la varietà dei materiali infornati e la non grande libertà di movimenti che l'esiguità dello spazio consente.

Per la posa dei laterizi sulla forma si ammette valgano ancora i valori della tabella II perchè

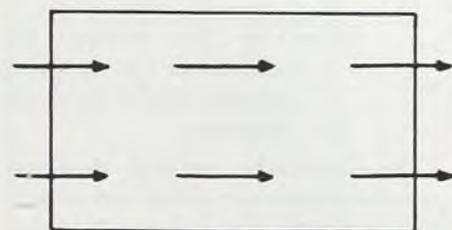


FIG. 23 — Avanzamento per linee parallele, sempre consigliabile.

tanto i laterizi le cui caratteristiche appaiono dalla fig. 32.

Trasporto con carriole di notevole capacità (fig. 36).

Si esaminano carriole perfezionate, cioè con ruote gommate e cuscinetti a sfere, analoghe come caratteristiche a quelle

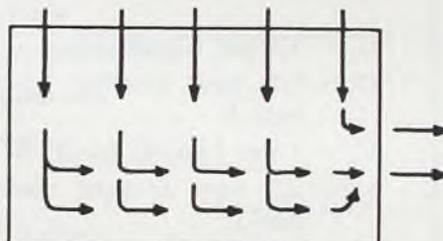


FIG. 24 — Avanzamento a linee ortogonali parallele. Utile per le industrie convergenti-divergenti o convergenti.

vece allo scarico delle carriole al deposito per formare le pile sull'aia della fornace; anch'essa fornisce il costo per 1000 pezzi di laterizio.

La tabella IV si riferisce al trasporto di 50 metri in media, eseguito sempre con le suddette

la maggior cura necessaria si ritiene compensata negli ulteriori 8 minuti impiegati per formare il pacco.

La tabella V fornisce, come si è detto, il costo per la formazione dei pacchi per 1000 pezzi, la tab. VI il costo dello scarico dei pacchi al deposito.

Per il trasporto valgono i dati della tabella IV essendo lo stesso il carico nei due casi.

Trasporto con carretti a mano da circa 1 mc. (fig. 38)

Si ammette si tratti di carretti moderni su sfere, gommati, tali da consentire una facile trazione. Per il trasporto si ammette che basti un manovale fino a 500 kg., che ne occorranò due fino a 1000 kg. e tre oltre 1000 kg.

La fig. 38 mostra lo schema del servizio fatto con carretti.

La tabella VII fornisce il costo del carico sui carri al forno per 1000 pezzi, la tabella VIII il costo per lo scarico sul piazzale coi detti carretti.

La tabella IX il costo del trasporto coi carretti stessi, per la solita distanza di 50 m.

Il costo del manovale è assunto sempre in L. 270 all'ora, ad esso si sono aggiunte L. 30 per l'ammortamento e la manutenzione dei carretti. In totale il costo orario si è assunto in L. 300. Qui si può osservare che se al carico e allo scarico sono adibiti due manovali, la permanenza del carretto è dimezzata e quindi il costo orario dovrebbe ridursi a $(270 \times 2 + 30) : 2 = 285$ lire.

Per abbondanza, e data l'incertezza sulle cifre, si è creduto opportuno mantenere costante la cifra di L. 300 per i blocchi forati, riducendola proporzionalmente per i mattoni.

Trasporto con carrelli a piano sollevabile (fig. 39)

Per l'uso di questi carrelli sono necessari degli sgabelli sui quali disporre i laterizi. Si è ammesso, come nello studio austriaco, la possibilità di arrivare coi carrelli nel forno e di fare il carico sugli sgabelli direttamente nel forno per evitare un duplice maneggio, il che rende-

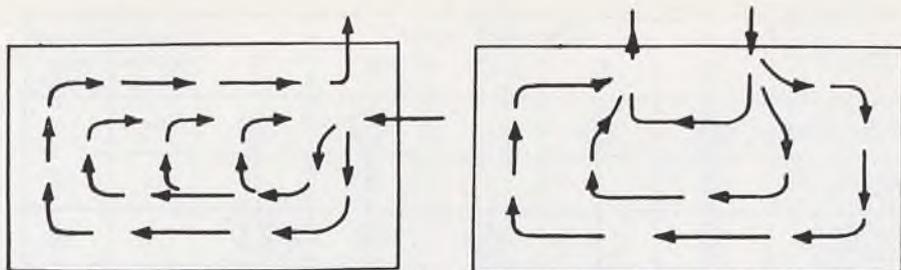


FIG. 25 — Avanzamento per circolazioni parallele utile per industrie multimono-linee con traiettorie di varie lunghezze per i diversi prodotti, utilizzabile anche per industrie divergenti-convergenti

FIG. 26 — Altra disposizione per avanzamento con circolazioni parallele e ingresso e uscita sullo stesso angolo

rebbe il sistema molto più costoso.

E' dubbio che nelle condizioni normali delle nostre fornaci ci sia possibile; se fossero necessarie manovre intermedie con carriole è sempre possibile tenerne conto mediante le tabelle precedenti.

E' anzitutto utile calcolare il capitale necessario per compiere nella fornace presa in esame, il servizio con carrelli a piano sollevabile (fig. 39) e tabella X.

In realtà il numero dei cicli giornalieri sarà attorno a 100 per lo scarico del forno e 100 per il carico degli autocarri cioè 200 in totale, che un carrello può compiere agevolmente. Per questo si è calcolato l'impegno di un solo conduttore.

Per 280 giorni lavorativi annui e 200 cicli giornalieri, la spesa per ciclo è la seguente:

$$\frac{2.600.000}{280 \times 200} = 46 \text{ lire per ciclo}$$

I quantitativi da caricare per volta sono stati calcolati in modo da consentire un conveniente carico e una completa utilizzazione di un autotreno da 18 ton-

nellate di portata utile. Dando agli sgabelli una dimensione di metri 1×1 , si potranno caricare 8 sgabelli sull'autocarro e 12 sul rimorchio, cioè 20 in totale, e così si dovranno proporzionare i carichi singoli affinché possibilmente con 20 sgabelli si possano raggiungere 18 tonn.

La tabella X fornisce i dati dei vari carichi così definiti nonché il costo gravante su 1000 pezzi a causa delle spese precedentemente calcolate.

Caso dei containers. All'estero, in alcuni casi, è stato proposto l'uso di containers per consentire il carico e lo scarico su e dall'autotreno mediante una gru fissata all'autocarro; il container poi serve anche all'utilizzatore per il trasporto in cantiere (fig. 34).

In questo caso il costo di 2000 sgabelli va sostituito col costo di almeno 1000 containers a L. 10.000 cad. (fig. 34) cioè al posto di 4.000.000 si spendono 10.000.000 e il capitale impegnato passa a L. 15 milioni 500.000.

Per l'esercizio, al posto delle L. 800.000 per ammortamento sgabelli e delle L. 200.000 per riparazioni, si debbono conside-

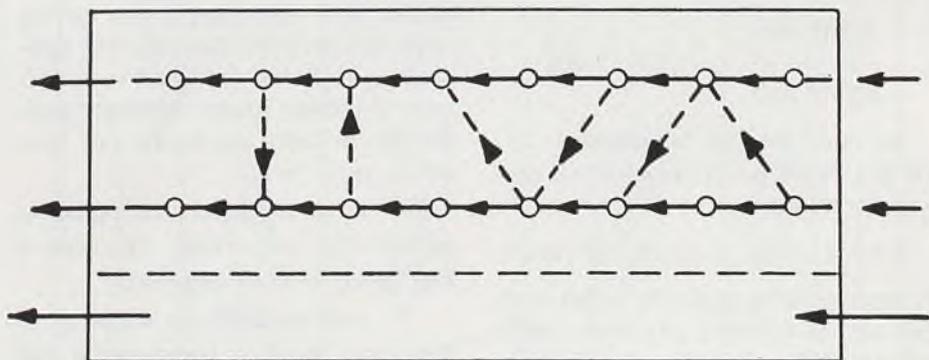


FIG. 27 — Avanzamento con linee principali parallele con possibilità di eccezioni per avanzamento a V a W, ecc. per i casi meno comuni. Utile per meccanica varia

| Operazione | Lavorazioni normali | | | | | Tonnellate trattate al mese | Percentuale pezzi per operaz. |
|-------------------------------|---------------------|----|----|----|---|-----------------------------|-------------------------------|
| | A | B | C | D | E | | |
| Preparazione | ① | ① | | ① | ③ | 24 | 71 |
| Decapaggio | ② | | | ② | ③ | 15 | 29 |
| Lavaggio speciale | ③ | | ① | ③ | ① | 25 | 74 |
| Nichelatura | ④ | | | ④ | ④ | 18 | 38 |
| Ramatura | | | ② | ④ | ② | 13 | 37 |
| Cromatura | | | | ⑥ | ⑤ | 9 | 21 |
| Vernic. spruzzo | ⑤ | ② | | | ⑥ | 19 | 58 |
| Ritocco | ⑥ | ③ | | | ⑦ | 19 | 58 |
| Vernice spec. preparazione | | | ③ | | | 4 | 29 |
| Forno cottura | | | ④ | | | 4 | 29 |
| Carteggiatura | | | ⑤ | | | 4 | 29 |
| Vernice finale | | | ⑥ | | | 4 | 29 |
| Forno cottura | | | ⑦ | | | 4 | 29 |
| Percentuale del ciclo | 16 | 34 | 29 | 13 | 8 | | 100 |
| Peso trattato per ciclo tonn. | 9 | 7 | 4 | 6 | 3 | 29 | |

① indica inizio ○○ indica fine del ciclo.

Fig. 28 — Diagramma per lo studio delle traiettorie più frequenti e dei pesi da trasportare ai vari posti di lavoro

rare L. 2.000.000 per ammortamento containers e L. 500.000 per riparazioni, cioè si ha una maggiore spesa di L. 1.500.000, cioè il costo annuo sale a L. 4.100.000. Aggiungendo il costo del manovratore a quello per ammortamenti e manutenzioni.

In questo caso però, essendo i containers adottati per fare il carico con gru, i cicli utili del carrello sono soltanto 100 al giorno e quindi il costo di ogni ciclo sale a Lire

$$\frac{4.100.000}{100 \times 280} = 147 \text{ Lire.}$$

La tabella XI fornisce i costi per 1000 pezzi trasportati con questo sistema.

Carico dello sgabello al forno.

Il carico dello sgabello o del container al forno è studiato nella tabella XII. Si noti che il costo non varia anche per le pile usate per i carrelli a forchetta per

i quali si sono adottati all'incirca gli stessi quantitativi che permettono di utilizzare l'intera portata dell'autotreno.

Poichè il costo degli impianti è già stato conteggiato, qui si calcola soltanto la mano d'opera a L. 270 l'ora.

Utilizzazione dei carrelli a forchetta (figg. 35 e 41).

Sono costituiti da un carrello elettrico o a scoppio che porta anteriormente una forchetta la quale può insinuarsi in cavità opportunamente lasciate in sgabelli o pallette (pallets) e sollevare il carico lungo apposite guide per posarlo su carri, per formare pile, ecc.

Nel caso dei mattoni possono usarsi in vari modi, fra essi i più usati sono i seguenti:

1) con sgabelli in legno o in ferro sui quali si formano le pile come si è detto precedentemente per i carrelli a piano sollevabile.

La differenza fra i due sistemi è che nel caso precedente gli sgabelli debbono essere più alti per lasciar passare le ruotine del carrello, mentre nel tipo a forchetta, essendo quest'ultima in falso, lo sgabello può essere molto basso (fig. 35 b);

2) per evitare la spesa degli sgabelli si possono usare piedini di mattoni opportunamente forati nel mezzo dei quali si fanno passare quattro bacchette di ferro che appoggiano sui denti della forchetta. A carico trasportato i tondi si sfilano.

Con una ventina di tondi si può fare tutto il servizio di una fornace (fig. 35 c);

3) usando gli stessi piedini in mattoni e utilizzando forchette a presa laterale pneumatica che afferrano i piedini e li trasportano assieme alla pila come mostra la fig. 35 d.

Con 200 cicli al giorno per 280 giorni annui il costo di ogni ciclo è di

$$1.960.000$$

$$\text{Lire } \frac{1.960.000}{200 \times 280} = 35.$$

$$200 \times 280$$

(vedi tabella 12 bis).

Se il carrello è dotato di pinze pneumatiche il costo aumenta di circa 1.000.000 per carrello e quindi il capitale impegnato sale a L. 10.500.000.

Le spese di esercizio aumentano per ammortamento e riparazioni delle forche pneumatiche di L. 200.000 + 40.000 = 240.000 e salgono a L. 2.200.000 annue. Il costo per ciclo diventa:

$$2.200.000$$

$$\frac{2.200.000}{200 \times 280} = 40 \text{ lire.}$$

$$200 \times 280$$

Finalmente se si usano le pallette è necessario considerare la spesa di 2.000 sgabelli in legno in circa L. 3.000.000.

Il capitale necessario diventa 8.500.000 + 3 milioni = 11 milioni 500.000 lire.

La spesa annua si ha aggiungendo a L. 1.960.000 L. 600.000 per ammortamento pallette e L. 100.000 per riparazioni delle medesime.

Si spendono in totale 2.660.000

| DATI in 8 ore | POSTI DI LAVORO | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|----------------------|----------------------|------------------|
| | I Centrice | II ₁ Torni cop. | III ₁ Tornio finire | IV ₁ Revolver | V ₁ B-occlatrice | VI ₁ Frese univ. | VII Stozzatrice | VIII ₁ Filetatrice | IX ₁ Trepani | X Spianatrice | XI Rettilica | XII Dent. cilind. | XIII Dent. conic. | XIV Controllo |
| Sigle prima | 7 a 18 | 7 a 12 | 7 a 12 | 5-6 | 3 4 10 11 | 2-3-7 | 15 | 7-8-9 10 11-12 | 1-2-3 | 4-5-6-18 | 12 a 18 | 12 a 17 | 18 | tutte |
| Sigle seconda | | 13 a 18 | 13 a 18 | 1-2-3-4 | 12-13-14 | 8-9-16 | | 13-14-15 16-17-18 | 7 8 9 10 12-13-14 | | | | | |
| Peso prima | 295 | 161 | 161 | 265 | 113 | 106 | 15 | 161 | 140 | 341 | 159 | 111 | 48 | 723 |
| kg. seconda | | 134 | 134 | 168 | 121 | 66 | | 134 | 209 | | | | | |
| Numero prima | 148 | 84 | 84 | 140 | 53 | 52 | 4 | 84 | 72 | 172 | 78 | 62 | 16 | 376 |
| Numero seconda | | 64 | 64 | 88 | 58 | 44 | | 68 | 112 | | | | | |

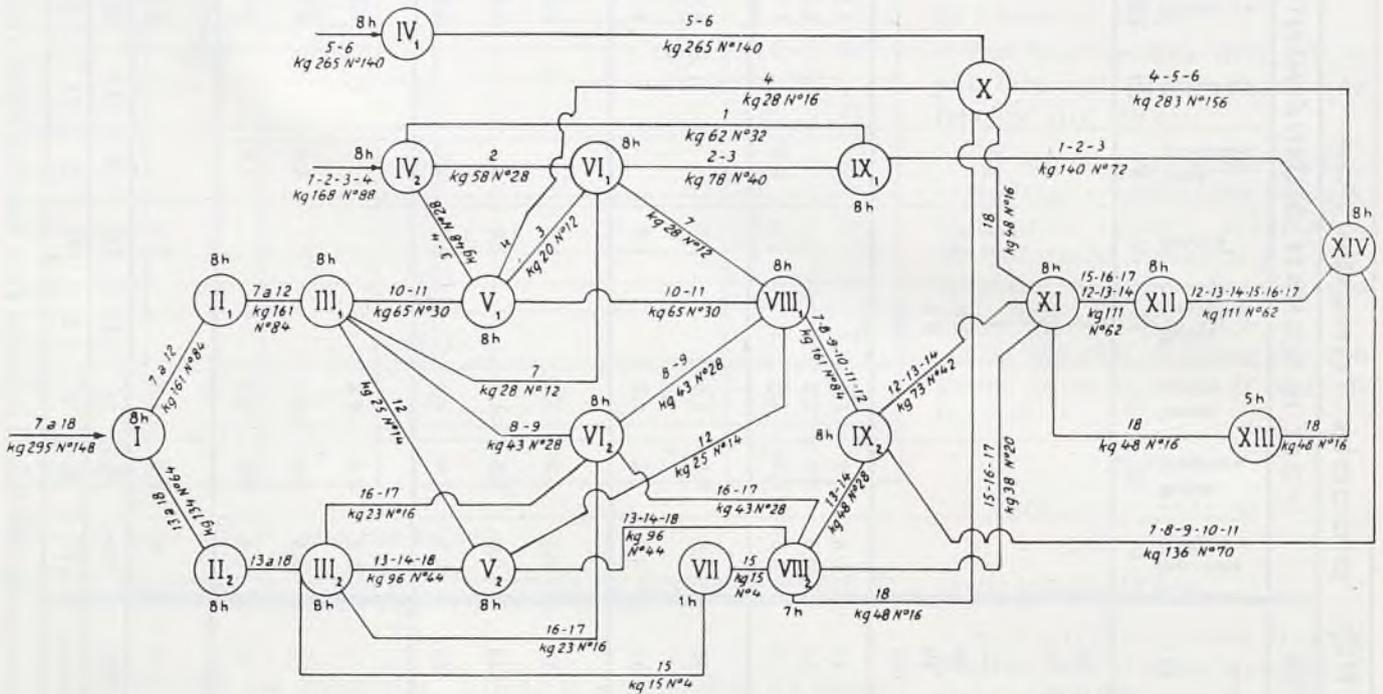


FIG. 30 — Grafico dei percorsi, dei pesi, della disposizione delle macchine.

lire annue che danno una spesa per ciclo di

2.660.000

Lire $\frac{2.660.000}{200 \times 280} = 48$.

Anche in questo caso il tempo di ciclo è molto rapido, paragonabile a quello calcolato per i carrelli a piano sollevabile e quindi un solo carrello è largamente sufficiente per compiere i 200 cicli giornalieri dal forno al deposito e dal deposito all'autotreno. Però occorre considerare un carrello di riserva.

Nel computo del capitale necessario bisogna calcolare separatamente i tre casi esaminati.

Adottando, come si è detto, le stesse disposizioni scelte per il caso precedente si ottengono così per i vari casi di utilizzazione del carrello a forchetta i costi per 1000 pezzi della tab. XIII. Si noti che l'uso delle bacchette in ferro

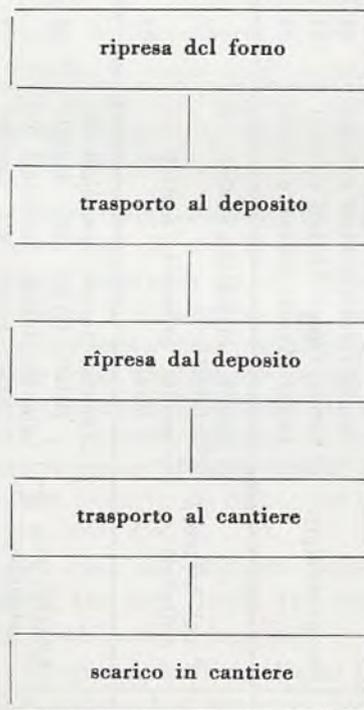


FIG. 31 — Schema delle operazioni studiate.

o delle forchette pneumatiche si presta soltanto per i mattoni pieni o vuoti.

Ripresa dal deposito e carico su autotreni.

Avendo passato in rassegna i principali metodi utilizzati per il trasporto dei laterizi dal forno al deposito è ora necessario studiare l'operazione di ripresa dal deposito e caricamento degli autotreni.

Ripresa e carico manuali (figg. 36 e 38).

La tabella XIV fornisce i costi per 1000 pezzi ripresi e caricati manualmente.

Utilizzazione delle carriole tipo svedese. (fig.37)

In questo caso le carriole riprendono i pacchi dal deposito, li trasportano sull'autocarro e

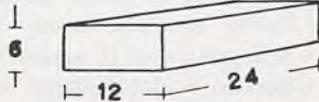
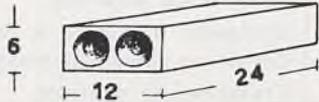
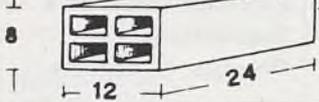
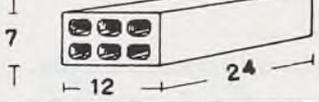
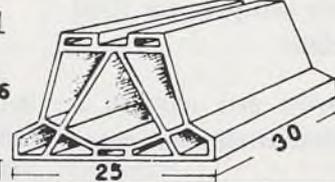
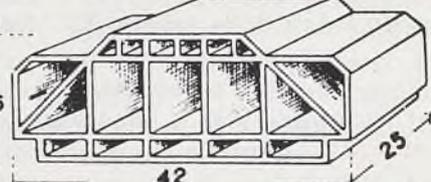
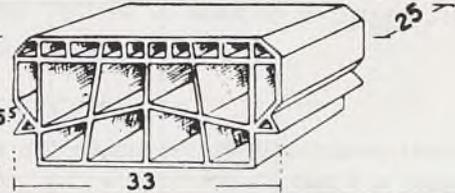
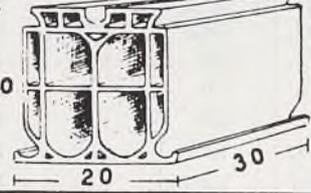
| N° D'ORDINE | DENOMINAZIONE | VOLUME DEL PARALLELEPIPEDO CIRCOSCRITTO LITRI | PESO CADUNO CIRCA Kg. | SCHIZZO DELLA FORMA |
|----------------|------------------|--|--------------------------------|--|
| 1 | MATTONE PIENO | 1,728 | 3 |  |
| 2 | MATTONE 2 FORI | 1,728 | 1,8 |  |
| 3 | MATTONE 4 FORI | 2,30 | 2,2 |  |
| 4 | MATTONE 6 FORI | 2,016 | 2,3 |  |
| 5 | TEGOLE PIANE | 6,88 | 2,8 |  |
| 6 | BLOCCHI FORATI A | 12 | 5,6 |  |
| 7 | BLOCCHI FORATI B | 16,8 | 8,8 |  |
| 8 | BLOCCHI FORATI C | 12,5 | 7,5 |  |
| 9 | BLOCCHI FORATI D | 12 | 7,3 |  |

FIG. 32 — Caratteristiche dei laterizi esaminati

TABELLA I
Schema funzionale delle operazioni da compiere

| N. d'ordine | Simbolo | Descrizione delle operazioni | Distanze in m. |
|-------------|---------|---|----------------|
| 1 | ■ | Deposito temporaneo nel forno | |
| 2 | (1) | Ripresa dal forno e carico su mezzo | |
| 3 | * | Trasporto su mezzo acconcio (esempio: nastro) | ~ 10 m |
| 4 | (2) | Carico su altro mezzo | |
| 5 | * | Trasporto con il mezzo suddetto | ~ 50 m |
| 6 | (3) | Scarico e impilamento sull'aia | |
| 7 | ● | Deposito permanente di stabilimento | |
| 8 | (4) | Ripresa dal deposito | |
| 9 | [] | Controllo numerico e cernita | |
| 10 | (5) | Carico su mezzo di trasporto | |
| 11 | * | Trasporto al cantiere | ~ 15 km |
| 12 | (6) | Scarico del mezzo | |
| 13 | [] | Controllo numerico e cernita | |
| 14 | (7) | Impilamento | |
| 15 | ■ | Deposito in cantiere | |

sul rimorchio utilizzando un piano caricatore ove li scaricano. Quattro carriole vengono caricate sull'autotreno e servono per lo scarico mediante un piano inclinato trasportabile.

La tabella XV fornisce il costo della ripresa e del carico con questo sistema sempre per 1000 pezzi di laterizio.

Ripresa e carico con carrelli a piano sollevabile su piano caricatore.

Valgono i dati della tabella X.

Ripresa e carico con carrelli a piano sollevabile e containers.

Non si prende in considerazione, in quanto i containers dovrebbero servire per utilizzare la gru fissata all'autocarro.

Ripresa e carico di containers con gru fissata all'autocarro (fig. 40).

Ammissa una distanza media dei cantieri dalla fornace tale da potersi superare in un'ora di viaggio fra andata e ritorno dell'autotreno e considerando inoltre una perdita di tempo di 2 ore

al massimo per carico, scarico e varie, ogni ciclo completo richiede 3 ore e ogni autotreno può compiere tre viaggi al giorno.

Considerando il trasporto medio di 20 mc per viaggio e una esportazione massima di 120 mc al giorno, occorreranno $120 : 20 = 6$ carichi e poichè ogni autotreno può compiere tre viaggi, sarebbero necessari 2 autotreni. Per abbondanza si ritengono necessari 3 autotreni e quindi si dovranno attrezzare tre autocarri con gru girevoli secondo lo schema della fig. 11.

Continuando con lo stesso metodo si arriva ai risultati conclusivi delle figg. 36 - 43.

I fabbricati

Il fabbricato dovrebbe essere soltanto il riparo che si eleva attorno al complesso che lo studio precedente ha definito.

Questo in teoria. Purtroppo non sempre è possibile agire così razionalmente in quanto il terreno disponibile, o il fabbricato già esistente da utilizzare, impongono alcune limitazioni al progettista.

E' però un grande errore, per fare dell'economia nel costo del terreno o del fabbricato, impegnare degli immobili irrazionali il cui peso economico si farà sempre più sentire nel corso del tempo, incidendo drasticamente sui redditi d'esercizio.

E' consigliabile, quando si vuole procedere all'impianto di un nuovo stabilimento, lasciare

TABELLA II — Costo del carico di 1000 pezzi di laterizio su carriole nel forno

| Laterizio | Peso cad. | Coefficienti | | | | Totale tempo per 1000 pezzi ore | Costo mano d'opera all'ora L. | Ammort. e manut. carriole L. | Totale costo orario L. | Costo per 1000 pezzi L. |
|------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | | | | | |
| Mattoni pieni | 3 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1 | 0,65 | 270 | 10 | 280 | 182 |
| Mattoni a 2 fori | 1,8 | » | 0,84 | » | » | 0,60 | » | » | » | 168 |
| Mattoni a 4 fori | 2,2 | » | 0,87 | » | » | 0,63 | » | » | » | 176 |
| Mattoni a 6 fori | 2,3 | » | 0,87 | » | » | 0,63 | » | » | » | 176 |
| Tegole piane | 2,8 | » | 1,4 | » | » | 1,00 | » | » | » | 280 |
| Blocchi forati A | 5,6 | » | 2,70 | » | » | 1,94 | » | » | » | 540 |
| Blocchi forati B | 8,8 | » | 4,0 | » | » | 2,90 | » | » | » | 810 |
| Blocchi forati C | 7,5 | » | 3,5 | » | » | 2,54 | » | » | » | 910 |
| Blocchi forati D | 7,3 | » | 3,4 | » | » | 2,45 | » | » | » | 685 |

TABELLA III — Scarico di carriole al deposito formando le pile

| Laterizio | Peso cad. kg. | Coefficienti | | | | Tempo totale ore | Costo mano d'opera all'ora L. | Costo manut. ammort. carriole all'ora L. | Costo totale all'ora L. | Costo totale per 1000 pezzi L. |
|------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-------------------------------|--|-------------------------|--------------------------------|
| | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | | | | | |
| Mattoni pieni | 3 | 0,8 | 0,9 | 1 | 1 | 0,72 | 270 | 10 | 280 | 202 |
| Mattoni a 2 fori | 1,8 | » | 0,84 | » | » | 0,672 | » | » | » | 188 |
| Mattoni a 4 fori | 2,2 | » | 0,87 | » | » | 0,696 | » | » | » | 195 |
| Mattoni a 6 fori | 2,3 | » | 0,87 | » | » | 0,696 | » | » | » | 195 |
| Tegole piane | 2,8 | » | 1,40 | » | » | 1,12 | » | » | » | 315 |
| Blocchi forati A | 5,6 | » | 2,70 | » | » | 2,15 | » | » | » | 600 |
| Blocchi forati B | 8,8 | » | 4,0 | » | » | 3,2 | » | » | » | 900 |
| Blocchi forati C | 7,5 | » | 3,5 | » | » | 2,8 | » | » | » | 790 |
| Blocchi forati D | 7,3 | » | 3,4 | » | » | 2,7 | » | » | » | 760 |

TABELLA IV — Trasporto a distanza media di 50 m. con carriole

| Laterizio | Pes. cad. kg. | N. pezzi per carriola | Cu'batura circa m ³ | Peso per carriola kg. | Costo L. 280 all'ora per ore | Costo per viaggio L. | Costo per 1000 pezzi L. |
|------------------------|---------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Mattoni pieni | 3 | 84 | 0,16 | 250 | 0,042 | 11,80 | 140 |
| Mattoni a 2 fori . . . | 1,8 | 84 | » | 150 | » | » | 140 |
| Mattoni a 4 fori . . . | 2,2 | 84 | » | 190 | » | » | 140 |
| Mattoni a 6 fori . . . | 2,3 | 84 | 0,20 | 200 | » | » | 140 |
| Tegole piane | 2,8 | 40 | 0,18 | 120 | » | » | 295 |
| Blocchi forati A . . . | 5,6 | 12 | 0,21 | 70 | » | » | 980 |
| Blocchi forati B . . . | 8,8 | 8 | » | 70 | » | » | 1.480 |
| Blocchi forati C . . . | 7,5 | 12 | » | 90 | » | » | 980 |
| Blocchi forati D . . . | 7,3 | 14 | » | 100 | » | » | 840 |

piena libertà ai progettisti di sviluppare lo studio secondo i concetti economicamente migliori e, dopo stabilita in linea di massima la disposizione migliore, cercare un terreno che soddisfi ad essa. Certe limitazioni provengono spesso dagli accessi alla viabilità generale e in tal caso sta al progettista trar partito al massimo del terreno disponibile.

Il fabbricato deve essere robusto, razionale, deve offrire un riparo e un appoggio assolutamente stabili, deve assicurare condizioni di lavoro, per l'illuminazione, il condizionamento dell'aria, l'assorbimento dei rumori e delle vibrazioni, tali da eliminare inutili affaticamenti e disturbi.

Per certe industrie alcuni progettisti sono propensi a svilup-

pare il ciclo produttivo in più piani, vi sono effettivamente delle produzioni che si prestano molto bene alla disposizione in cascata, che si può ottenere facendo cadere per gravità il materiale da un piano al sottostante, come avviene nei mulini da grano, o lungo gradoni tagliati lungo pendii montani e collinosi

come s'usa per molte laverie di minerali.

Vi sono altre produzioni, di tipo leggero, che non presentano problemi particolari per il trasporto; si prestano ugualmente bene a cicli sviluppati in piano o su più piani.

In questi casi il tipo da scegliere è, almeno a prima vista,

TABELLA V
Costo di formazione del pacco per 1000 pezzi

| Laterizio | Peso cad. kg. | N. pezzi per pacco | Peso pacco kg. | Costo per 84 pezzi L. | Costo per 1000 pezzi L. |
|------------------------|---------------|--------------------|----------------|-----------------------|-------------------------|
| Mattoni pieni | 3 | — | — | — | — |
| Mattoni a 2 fori . . . | 1,8 | 84 | 150 | 105 | 1240 |
| Mattoni a 4 fori . . . | 2,2 | 84 | 190 | 105 | 1240 |
| Mattoni a 6 fori . . . | 2,3 | 84 | 200 | 105 | 1240 |

TABELLA VI

Costo dello scarico al deposito con carriole tipo svedese

| Laterizio | N. pezzi pacco | Peso pacco kg. | Tempo per lo scarico | Costo orario L. 280 L. | Costo per 1000 pezzi L. |
|------------------------|----------------|----------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| Mattoni pieni | — | — | — | — | — |
| Mattoni a 2 fori . . . | 84 | 150 | 1' | 4.65 | 55 |
| Mattoni a 4 fori . . . | 84 | 190 | 1' | 4.65 | 55 |
| Mattoni a 6 fori . . . | 84 | 200 | 1' | 4.65 | 55 |

indifferente; alcuni pensano che dove il terreno è caro convenga il fabbricato a più piani.

Raramente però, se si tien conto di tutti gli inconvenienti legati ai fabbricati industriali a più piani, la convenienza economica è veramente in favore di essi; quando si hanno dei dubbi in proposito, si può fare un con-

fronto del tipo di quello accennato nella tabella XVI.

Oggi però la preferenza dei progettisti industriali è senz'altro per i fabbricati ad un solo piano (terreno) non soltanto per le industrie pesanti (fonderie, acciaierie, grossa meccanica, ecc.) ma anche per le industrie leggere (liquori, farmaceutici, pro-

fumi, orologi ecc.) per la migliore disposizione dei cicli e la più facile sorveglianza generale.

Il fabbricato ad un solo piano può oggi costruirsi, senza aumento sensibile di costo, senza pilastri intermedi, il che è un grande vantaggio perchè non vincola nella disposizione del macchinario, anche in caso di macchine sempre più grandi e voluminose. L'illuminazione per il fabbricato a un solo piano può essere ottima dall'alto, mentre per quello a più piani, per i piani inferiori è sempre difettosa e diventa insufficiente se la larghezza del fabbricato supera i 16 m. (luci dalle due parti).

Errore frequentissimo nei fabbricati industriali della prima metà del secolo, è l'estensione eccessiva del terreno, l'eccessiva distanza di un fabbricato dallo

TABELLA VII — Carico su carretti a mano da 1 m³ circa (dal forno al carro)

| Laterizio | Peso cad. kg. | N. pezzi per il carico di 1 m ³ | Peso totale per carico kg. | Coefficienti | | | | Totale ore | Costo totale in L. all'ora | Costo per 1000 pezzi L. |
|------------------|---------------|--|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|----------------------------|-------------------------|
| | | | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | | | |
| Mattoni pieni | 3 | 460 | 1400 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1 | 0,73 | 300 | 220 |
| Mattoni a 2 fori | 1.8 | 460 | 830 | » | 0,84 | » | » | 0,69 | » | 206 |
| Mattoni a 4 fori | 2.2 | 350 | 770 | » | 0,87 | » | » | 0,72 | » | 216 |
| Mattoni a 6 fori | 2.3 | 420 | 970 | » | 0,87 | » | » | 0,72 | » | 216 |
| Tegole piane | 2.8 | 200 | 560 | » | 1.4 | » | » | 1.14 | » | 341 |
| Blocchi forati A | 5.6 | 84 | 470 | » | 2.7 | » | » | 2.20 | » | 660 |
| Blocchi forati B | 8.8 | 42 | 370 | » | 4.0 | » | » | 3.25 | » | 975 |
| Blocchi forati C | 7.5 | 64 | 480 | » | 3.5 | » | » | 2.85 | » | 855 |
| Blocchi forati D | 7.3 | 70 | 520 | » | 3.4 | » | » | 2.75 | » | 825 |

TABELLA VIII — Scarico da carri da 1 m³ al deposito formando le pile

| Laterizio | Peso cad. kg. | N. pezzi per ogni carro | Peso per carro kg. | Coefficienti | | | | Totale ore | Costo orario | Costo per 1000 pezzi L. |
|------------------|---------------|-------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|--------------|-------------------------|
| | | | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | | | |
| Mattoni pieni | 3 | 460 | 1.400 | 0,9 | 0,9 | 1 | 1 | 0,81 | 300 | 242 |
| Mattoni a 2 fori | 1,8 | 460 | 830 | » | 0,84 | » | » | 0,60 | » | 226 |
| Mattoni a 4 fori | 2,2 | 350 | 770 | » | 0,87 | » | » | 0,78 | » | 234 |
| Mattoni a 6 fori | 2,3 | 420 | 970 | » | 0,87 | » | » | 0,78 | » | 234 |
| Tegole piane | 2,8 | 200 | 560 | » | 1,70 | » | » | 1,26 | » | 376 |
| Blocchi forati A | 5,6 | 84 | 470 | » | 2,7 | » | » | 2,43 | » | 730 |
| Blocchi forati B | 8,8 | 42 | 370 | » | 4,0 | » | » | 3,60 | » | 1.080 |
| Blocchi forati C | 7,5 | 64 | 480 | » | 3,5 | » | » | 3,15 | » | 945 |
| Blocchi forati D | 7,3 | 70 | 520 | » | 3,4 | » | » | 3,05 | » | 915 |

TABELLA IX — *Trasporto con carri da 1 m³ a distanza di 50 m. e ritorno a vuoto*

| Laterizio | N. pezzi per carro. | Peso trasportato kg. | Tempo per l'andata sec. | Manovali N. | Tempo per il ritorno sec. | Manovali N. | Tempo totale in sec. | Costo orario L. | Costo per 1 carro L. | Costo per 1000 pezzi L. |
|------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|-------------|----------------------|-----------------|----------------------|-------------------------|
| Mattoni pieni | 460 | 1.400 | 80 | 3 | 80 | 1 | 320 | 285 | 25,5 | 55 |
| Mattoni a 2 fori | 460 | 830 | 80 | 2 | » | » | 240 | 290 | 19,4 | 42 |
| Mattoni a 4 fori | 350 | 770 | 80 | 2 | » | » | 240 | 290 | 19,4 | 55 |
| Mattoni a 6 fori | 420 | 970 | 80 | 2 | » | » | 240 | 290 | 19,4 | 46 |
| Tegole piane | 200 | 560 | 90 | 1 | » | » | 190 | 300 | 14,2 | 70 |
| Blocchi forati A | 84 | 470 | 90 | » | » | » | 170 | 300 | 14,2 | 160 |
| Blocchi forati B | 42 | 370 | 90 | » | » | » | 170 | 300 | 14,2 | 385 |
| Blocchi forati C | 64 | 480 | 90 | » | » | » | 170 | 300 | 14,2 | 220 |
| Blocchi forati D | 70 | 520 | 90 | » | » | » | 170 | 300 | 14,2 | 202 |

TABELLA X

Capitale necessario e tempi di ciclo per il trasporto con carrelli a piano sollevabile

| <i>Capitale necessario</i> | | per il carrello in servizio | per il carrello di riserva |
|--|----|-----------------------------|----------------------------|
| per un carrello da 2 tonn. | L. | 2.000.000 | 2.000.000 |
| per la batteria | » | 500.000 | 500.000 |
| per l'apparecchiatura di carica | » | 500.000 | |
| | | | 2.500.000 |
| per gli sgabelli sufficienti per 20 giorni di produzione a circa 100 mc. sono 2000 sgabelli a L. 2000 cad. | » | 4.000.000 | |
| Totale per il I carrello | L. | 7.000.000 | |
| Totale per il II carrello | » | 2.500.000 | |
| Totale | L. | 9.500.000 | |

Spese annue corrispondenti

| | | |
|---|----|---------|
| ammortamento carrelli al 10% su 4.000.000 | L. | 400.000 |
| ammortamento batterie al 20% su 1.000.000 | » | 200.000 |
| ammortamento apparecchiatura di carica | » | 50.000 |
| ammortamento sgabelli al 20% | » | 800.000 |
| manutenzione e ricambi: per gomme | » | 50.000 |
| per carrelli | » | 50.000 |
| per batterie | » | 20.000 |
| per impianto carica | » | 30.000 |
| per sgabelli | » | 200.000 |
| per energia elettrica | » | 50.000 |

Totale spese annue L. 1.850.000

Le spese annue per l'impianto, in . . . L. 1.850.000
vanno integrate col costo del conduttore in » 750.000

Sono in totale L. 2.600.000

Tempo di ciclo

| | | |
|--------------------------------------|------|----|
| presa del carico | sec. | 5 |
| percorso di 50 metri circa | » | 20 |
| abbandono del carico | » | 5 |
| ritorno per 50 metri | » | 20 |

Tempo di ciclo in totale sec. 50

altro, l'eccessivo spazio coperto. Vi sono stabilimenti che potrebbero razionalmente produrre il doppio di quanto producono in 10.000 m² coperti in unico capannone e invece lavorano in 40.000 e più m² coperti, con saloni distanti 50 e talvolta fin 100 m. l'uno dall'altro, con spesa altissima di trasporti e che provocano grave disorganizzazione nel controllo del ciclo produttivo.

Che dire di quelle industrie che hanno così male compreso il concetto del decentramento da sottoporre i materiali in lavorazione ai più antieconomici e astrusi percorsi da paese a paese? Disposizioni accettabili in tempo di guerra per evitare i danni dei bombardamenti, dovevano immediatamente essere corrette alla fine delle ostilità; perdurando, hanno trascinato molte aziende nella rovina.

I fabbricati debbono essere limitati allo stretto necessario per dare respiro alle lavorazioni, eliminando però i collegamenti inutilmente lunghi.

Buona norma è invece di abbondare nel terreno per tener conto di futuri ampliamenti, dei quali il progettista avrà tenuto conto nello studio dei fabbricati, sì che sia possibile aumentare la capacità produttiva dei vari reparti senza dover rivoluzionare quanto è già in funzione.

Gli impianti generali

Comprendono: gli impianti igienici, gli impianti per luce e forza, gli impianti per le comunica-

zioni (telefoni, altoparlanti, segnali luminosi), gli impianti di riscaldamento.

Molto spesso sotto il piano terreno, ove si sviluppa la lavorazione, esistono i corridoi per le canalizzazioni, per gli impianti igienici e per le cabine di trasformazione.

Attualmente però è anche molto usata la disposizione aerea dei servizi, ricavati su soppalchi longitudinali accessibili a mezzo scalette, completamente visibili, perchè vetrati, in modo che si possano sorvegliare dal basso le linee elettriche, le cabine, i gabinetti ecc.

Per il riscaldamento si ricor-

TABELLA X bis
Trasporto con carrello a piano sollevabile e sgabelli

| Laterizio | Capacità m ³ circa | N. pezzi | Peso kg. | Costo del ciclo L. | Costo per 1000 pezzi L. |
|--------------------------|-------------------------------|----------|----------|--------------------|-------------------------|
| Mattoni pieni | 1,0 | 460 | 1.400 | 46 | 100 |
| Mattoni a 2 fori | 1,10 | 500 | 900 | » | 92 |
| Mattoni a 4 fori | 1,20 | 420 | 900 | » | 110 |
| Mattoni a 6 fori | 1,0 | 400 | 900 | » | 115 |
| Tegole piane | 1,6 | 320 | 900 | » | 144 |
| Blocchi forati A | 2,0 | 160 | 900 | » | 290 |
| Blocchi forati B | 2,0 | 84 | 740 | » | 550 |
| Blocchi forati C | 1,9 | 120 | 900 | » | 380 |
| Blocchi forati D | 1,7 | 120 | 880 | » | 380 |

TABELLA XI

Trasporto con carrello a piano sollevabile e containers

| Laterizio | Capacità utilizzata m ³ | N. pezzi per carico | Peso per carico kg. | Distanze m. 50 | Costo per ciclo L. | Costo per 1000 pezzi L. |
|------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------|--------------------|-------------------------|
| Mattoni pieni | — | — | — | — | — | — |
| Mattoni a 2 fori | 1,10 | 500 | 900 | 50 | 147 | 295 |
| Mattoni a 4 fori | 1,20 | 420 | 900 | » | » | 350 |
| Mattoni a 6 fori | 1,00 | 400 | 900 | » | » | 365 |
| Tegole piane | 1,60 | 320 | 900 | » | » | 460 |
| Blocchi forati A | 1,60 | 120 | 570 | » | » | 1.230 |
| Blocchi forati B | 1,60 | 70 | 620 | » | » | 2.100 |
| Blocchi forati C | 1,60 | 100 | 750 | » | » | 1.430 |
| Blocchi forati D | 1,60 | 110 | 800 | » | » | 1.340 |

re quasi sempre ad una centrale termica, e, nei locali di lavoro ad aerotermini a vapore.

Per l'illuminazione molto usate sono oggi le lampade fluorescenti opportunamente colorate per evitare danni alla vista.

Per la distribuzione dell'energia alle macchine sono consigliabili i sistemi tipo blindosbarra con prese di corrente continue in alto, racchiuse in canali di protezione e con possibilità di presa in ogni punto.

Nei locali ove si compiono operazioni molto rumorose (prova di motori a scoppio) l'opportuna copertura delle pareti con car-

TABELLA XII — Carico dal forno allo sgabello o al container o alla palletta

| Laterizio | Peso cad. kg. | Coefficienti | | | | Totale ore per 1000 pezzi | Per L. 4270 l'ora costo 1000 pezzi L. |
|--------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | | |
| Mattoni pieni | 3 | 1 | 0,9 | 0,9 | 1 | 0,81 | 220 |
| Mattoni a 2 fori | 1,8 | » | 0,84 | » | » | 0,75 | 212 |
| Mattoni a 4 fori | 2,2 | » | 0,87 | » | » | 0,78 | 210 |
| Mattoni a 6 fori | 2,3 | » | 0,87 | » | » | 0,78 | 210 |
| Tegole piane | 2,8 | » | 1,40 | » | » | 1,26 | 340 |
| Blocchi forati A | 5,6 | » | 2,70 | » | » | 2,43 | 660 |
| Blocchi forati B | 8,8 | » | 4,0 | » | » | 3,60 | 970 |
| Blocchi forati C | 7,5 | » | 3,5 | » | » | 3,15 | 850 |
| Blocchi forati D | 7,3 | » | 3,4 | » | » | 3,05 | 820 |

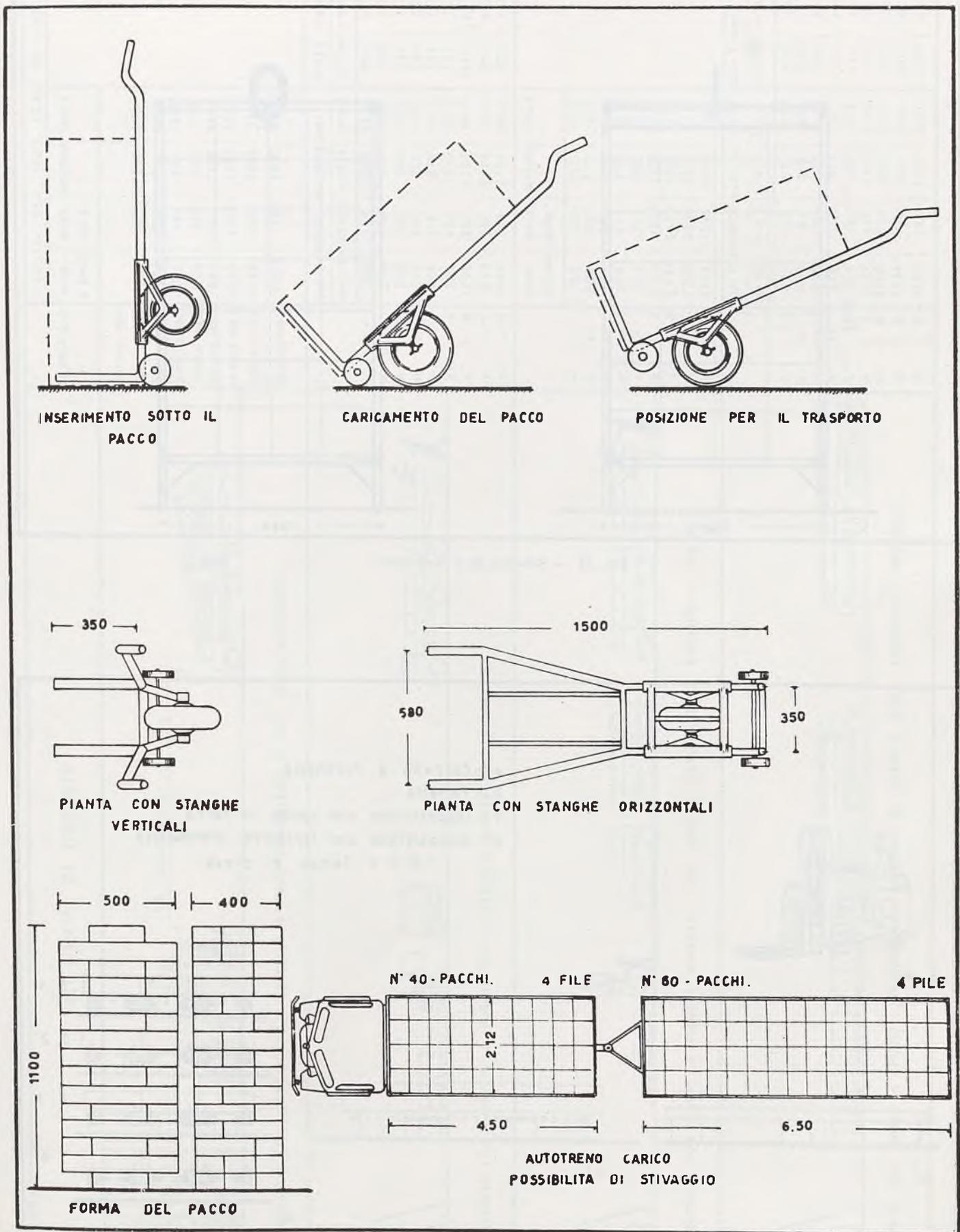


Fig. 33 — Servizio con carriole a sistema svedese

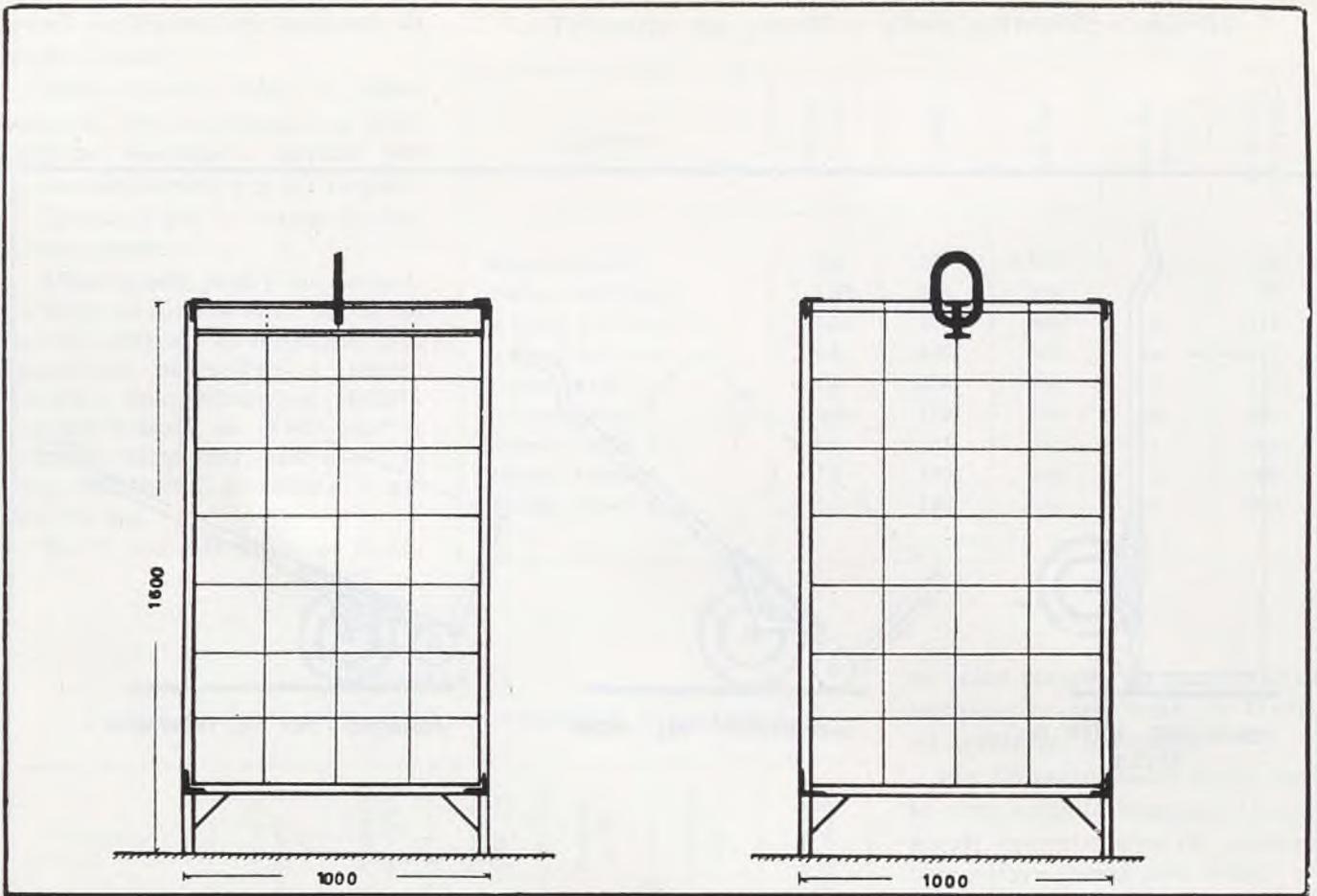


Fig. 34 — Schema di « container »

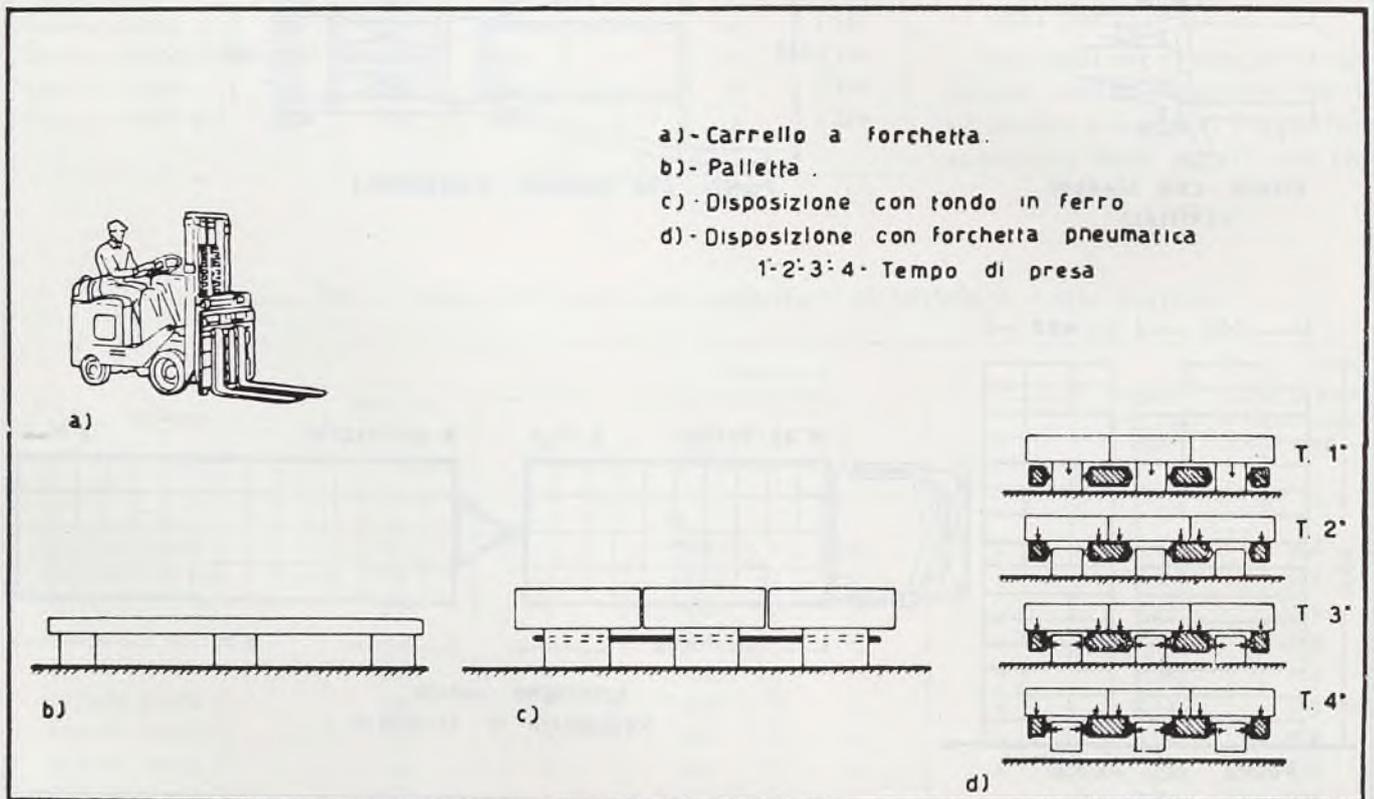


Fig. 35 — Vari sistemi di carrelli a forchetta per laterizi

Vari sistemi di trasporto

| LATERIZIO | COSTO PER 1000 PEZZI IN LIRE | | |
|---------------|------------------------------|-----------------|--------|
| | MANO D'OPERA | SPESE AUTOTRENO | TOTALE |
| MATTONI PIENI | | | |
| MATT 2 FORI | 256 | 532 | 1115 |
| MATT 4 FORI | 274 | 640 | 1302 |
| MATT 6 FORI | 276 | 670 | 1351 |
| TEGOLE PIANE | 424 | 860 | 1794 |
| BLOCCO FOR A | 885 | 2220 | 4470 |
| BLOCCO FOR B | 1355 | 3800 | 7490 |
| BLOCCO FOR C | 4120 | 2660 | 5410 |
| BLOCCO FOR D | 1065 | 2430 | 4780 |

| | CON DEPOSITO INTERMEDIO | | | SENZA DEPOSITO INTERMEDIO | | |
|---------|-------------------------|------------------|--------|---------------------------|------------------|--------|
| | MAN. D'OP. | SPESE V. AUTOTR. | TOTALE | MAN. D'OP. | SPESE V. AUTOTR. | TOTALE |
| M. P | 280 | 150 | 1000 | 250 | 127 | 1000 |
| M. 2.F | 256 | 138 | 622 | 229 | 117 | 622 |
| M. 4.F | 274 | 166 | 740 | 242 | 140 | 740 |
| M. 6.F | 278 | 232 | 720 | 244 | 206 | 720 |
| T. P | 424 | 216 | 970 | 382 | 183 | 970 |
| B. F. A | 828 | 432 | 1950 | 744 | 360 | 1950 |
| B. F. B | 1290 | 820 | 3700 | 1130 | 695 | 3700 |
| B. F. C | 1076 | 582 | 2600 | 963 | 487 | 2600 |
| B. F. D | 1046 | 574 | 2600 | 933 | 487 | 2600 |

| | CON DEPOSITO INTERMEDIO | | | SENZA DEPOSITO INTERMEDIO | | |
|---------|-------------------------|------------------|--------|---------------------------|------------------|--------|
| | MAN. D'OP. | SPESE V. AUTOTR. | TOTALE | MAN. D'OP. | SPESE V. AUTOTR. | TOTALE |
| M. P | 564 | 645 | 950 | 564 | 645 | 950 |
| M. 2.F | 488 | 397 | 572 | 488 | 397 | 572 |
| M. 4.F | 521 | 506 | 720 | 521 | 506 | 720 |
| M. 6.F | 523 | 495 | 720 | 523 | 495 | 720 |
| T. P | 843 | 700 | 900 | 843 | 700 | 900 |
| B. F. A | 1720 | 1603 | 1850 | 1720 | 1603 | 1850 |
| B. F. B | 2744 | 2670 | 3000 | 2744 | 2670 | 3000 |
| B. F. C | 2248 | 2096 | 2400 | 2248 | 2096 | 2400 |
| B. F. D | 2102 | 1896 | 2400 | 2102 | 1896 | 2400 |

| | CON TRASPORTE MANDAL FORNO | | | CON TRASPORTE CARR A P.S. DAL FO. | | |
|---------|----------------------------|------------------|--------|-----------------------------------|------------------|--------|
| | MAN. D'OP. | SPESE V. AUTOTR. | TOTALE | MAN. D'OP. | SPESE V. AUTOTR. | TOTALE |
| M. P | 477 | 140 | 630 | 260 | 207 | 630 |
| M. 2.F | 443 | 91 | 376 | 239 | 165 | 376 |
| M. 4.F | 464 | 116 | 470 | 254 | 202 | 470 |
| M. 6.F | 466 | 105 | 470 | 256 | 194 | 470 |
| T. P | 736 | 188 | 630 | 306 | 306 | 630 |
| B. F. A | 1437 | 443 | 1300 | 777 | 703 | 1300 |
| B. F. B | 2160 | 830 | 2280 | 1190 | 1200 | 2280 |
| B. F. C | 1854 | 596 | 1700 | 1004 | 1016 | 1700 |
| B. F. D | 1794 | 503 | 1700 | 974 | 953 | 1700 |

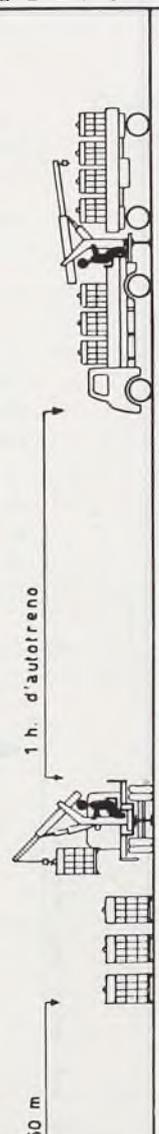


Fig. 40 TRASPORTO CON CONTAINERS - CARRELLO A PIANO SOLLEVABILE E GRU SULL' AUTOCARRO.



Fig. 41 TRASPORTO CON CARRELLI A FORCHETTA - SCARICO AUTOTRENO A MANO.

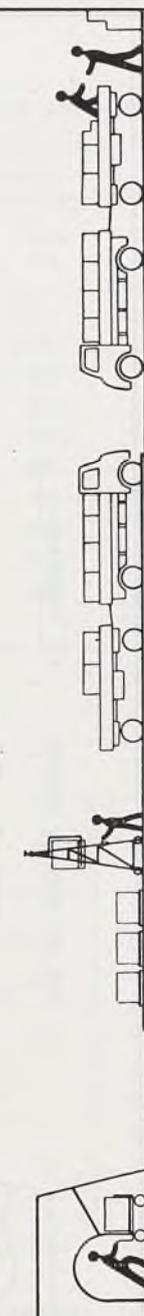


Fig. 42 TRASPORTO CON CARRI A MANO - RIPRESA CON GRU A CAVALLETTO - SCARICO A MANO.

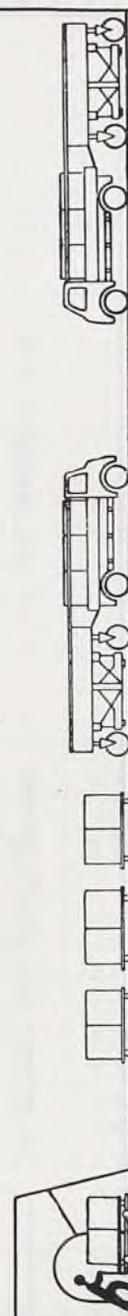


Fig. 43 TRASPORTO CON CARRO A PIANO SOLLEVABILE - RIPRESA E SCARICO CON RIMORCHIO SPECIALE.

Vari sistemi di trasporto

| LATERIZIO | COSTO PEP 1000 PEZZI IN LIRE | | | | | | | |
|---------------|------------------------------|------------|---------------------------|--------|---------------------|-----------------|------|------|
| | CON DEPOSITO INTERMEDIO | | SENZA DEPOSITO INTERMEDIO | | DEPOSITO INTERMEDIO | | | |
| | MANO D'OP. | SPESE VARE | AUTOTRENO | TOTALE | MAN. D'OPER. | SPESE V. AUTOT. | | |
| MATTONI PIENI | 782 | 22 | 1380 | 2184 | 682 | 20 | 1380 | 1982 |
| MATT 2 FORI | 741 | 20 | 768 | 1529 | 555 | 18 | 768 | 1341 |
| MATT 4 FORI | 762 | 19 | 960 | 1741 | 568 | 18 | 960 | 1546 |
| MATT 6 FORI | 762 | 19 | 960 | 1741 | 568 | 18 | 960 | 1546 |
| TEGOLE PIANE | 1325 | 30 | 1180 | 2535 | 1012 | 28 | 1180 | 2220 |
| BLOCCO FOR A | 2880 | 80 | 2560 | 5520 | 2290 | 70 | 2560 | 4920 |
| BLOCCO FOR B | 4220 | 160 | 3800 | 8180 | 3090 | 140 | 3800 | 7030 |
| BLOCCO FOR C | 3480 | 100 | 3200 | 6780 | 2710 | 80 | 3200 | 5990 |
| BLOCCO FOR D | 3270 | 85 | 3100 | 6455 | 2520 | 75 | 3100 | 5695 |
| M P | 926 | 734 | 910 | 2570 | 765 | 700 | 910 | 2375 |
| M 2 F | 926 | 744 | 910 | 2580 | 765 | 710 | 910 | 2385 |
| M 4 F | 926 | 784 | 910 | 2620 | 765 | 750 | 910 | 2425 |
| M 6 F | | | | | | | | |
| T P | | | | | | | | |
| B F A | | | | | | | | |
| B F B | | | | | | | | |
| B F C | | | | | | | | |
| B F D | | | | | | | | |
| M P | 746 | 51 | 1380 | 2177 | 507 | 48 | 1380 | 1935 |
| M 2 F | 694 | 45 | 768 | 1507 | 491 | 42 | 768 | 1281 |
| M 4 F | 726 | 49 | 960 | 1735 | 496 | 45 | 960 | 1501 |
| M 6 F | 718 | 48 | 960 | 1726 | 487 | 45 | 960 | 1492 |
| T P | 1182 | 70 | 1180 | 2432 | 807 | 65 | 1180 | 2052 |
| B F A | 2290 | 100 | 2560 | 4950 | 1570 | 90 | 2560 | 4220 |
| B F B | 3440 | 200 | 3800 | 7440 | 2380 | 180 | 3800 | 6360 |
| B F C | 2880 | 120 | 3200 | 6200 | 1945 | 110 | 3200 | 5255 |
| B F D | 2912 | 100 | 3100 | 6112 | 2007 | 90 | 3100 | 5192 |
| M P | 300 | 120 | 1000 | 1420 | 270 | 100 | 1000 | 1370 |
| M 2 F | 276 | 110 | 612 | 998 | 250 | 90 | 612 | 952 |
| M 4 F | 298 | 132 | 730 | 1160 | 255 | 120 | 730 | 1105 |
| M 6 F | 302 | 138 | 770 | 1210 | 257 | 125 | 770 | 1152 |
| T P | 456 | 172 | 960 | 1588 | 406 | 150 | 960 | 1516 |
| B F A | 894 | 346 | 1900 | 3140 | 790 | 300 | 1900 | 2995 |
| B F B | 1410 | 660 | 3650 | 5720 | 1195 | 600 | 3650 | 5445 |
| B F C | 1158 | 452 | 2550 | 4160 | 1020 | 400 | 2550 | 3970 |
| B F D | 1128 | 452 | 2550 | 4130 | 990 | 400 | 2550 | 3940 |

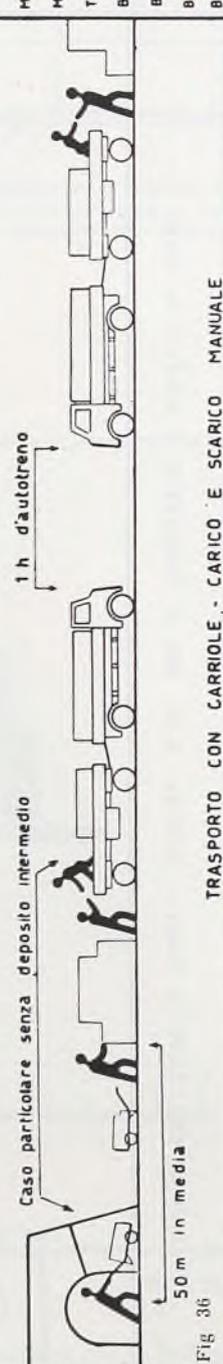


Fig. 36

TRASPORTO CON CARRIOLE - CARICO E SCARICO MANUALE

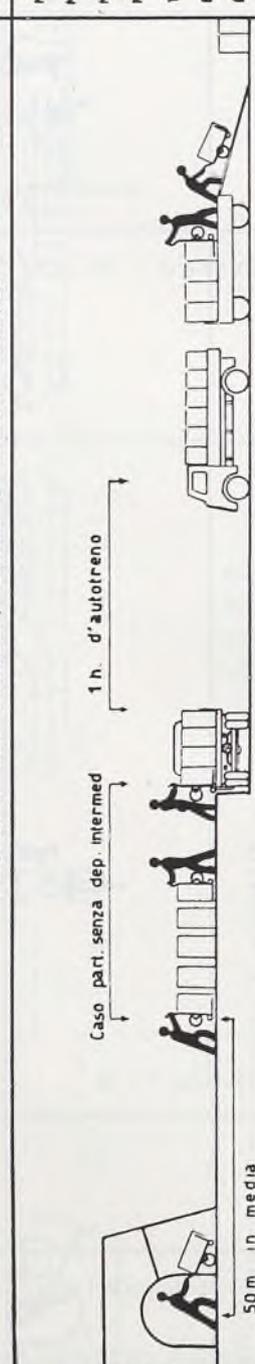


Fig. 37

TRASPORTO CARICO E SCARICO CON CARRIOLE TIPO SVEDESE

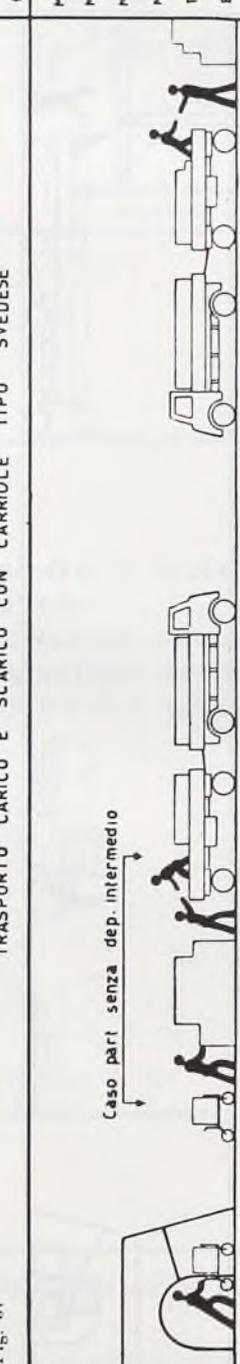


Fig. 38

TRASPORTO CON CARRETTI A MANO - CARICO E SCARICO MANUALE

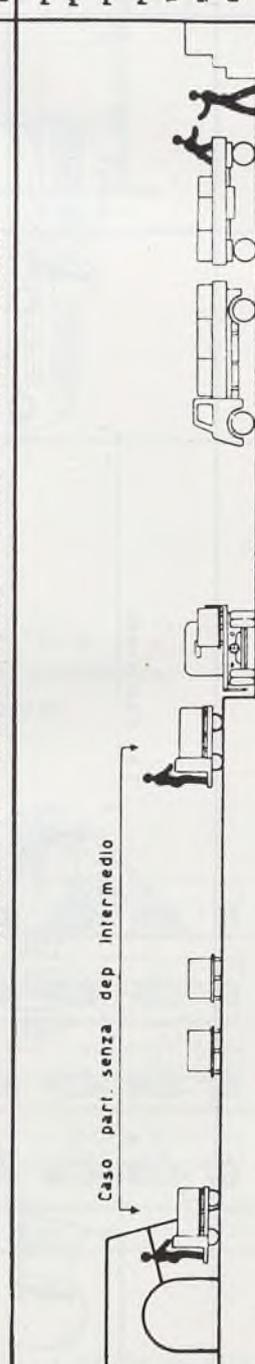


Fig. 39

TRASPORTO CON CARRELLI A PIANO SOLLEVABILE - CARICO DA PIANO CARICATORE - SCARICO A MANO.

TABELLA XII bis

| <i>Caso dell'uso dei mattoni e bacchette in ferro.</i> | | | |
|--|----------------------------|-------------------------|-----------|
| Capitale necessario: | | carrello in servizio | riserva |
| carrello | L. | 3.500.000 | 3.500.000 |
| batteria | » | 500.000 | 500.000 |
| complesso di carica | » | 500.000 | |
| | Totale | L. 4.500.000 | 4.000.000 |
| | Per riserva | » 4.000.000 | |
| | Totale | L. 8.500.000 | |
| <i>Spese annue</i> | | | |
| ammortamento carrelli 7.000.000 al 10% | L. | 700.000 | |
| ammortamento batterie al 20% | » | 500.000 | |
| ammortamento apparecchio carica | » | 50.000 | |
| riparazioni e manutenzioni: gomme | » | 50.000 | |
| carrelli | » | 100.000 | |
| apparecchio carica | » | 30.000 | |
| energia | » | 60.000 | |
| | Per l'impianto annualmente | L. 1.210.000 | |
| | Per il conduttore | » 750.000 | |
| | Totale annualmente | L. 1.960.000 | |

toni forati riduce notevolmente il rumore nel locale e limita la trasmissione ai locali vicini.

L'uso opportuno dei colori nella tinteggiatura delle pareti e del macchinario favorisce la limitazione della fatica, specialmente visiva, e un lavoro di maggior precisione. Le pareti ove si posa normalmente la vista si possono tingere vantaggiosamente in verdino, il soffitto e le pareti laterali in colori caldi molto chiari e riflettenti la luce, come il crema; le macchine si tingono spesso in verde, nel complesso, e in bianco, ove lo utensile lavora, per distinguere bene il distacco tra la macchina, l'utensile e il pezzo. Per evitare infortuni è bene tingere in arancione tutto ciò che può essere

TABELLA XIII — *Trasporto e scarico con carrelli a forchette*

| Laterizio | m ³ | N. pezzi | Pesi | | Con bacchette ferro L. 35 per 1000 pezzi L. | Con forche pneumatiche L. 40 per 1000 pezzi L. | Con palette L. 48 per 1000 pezzi L. |
|----------------------------|----------------|----------|----------------|---------------|--|---|---|
| | | | singoli kg. | totali kg. | | | |
| Mattoni pieni | 1,0 | 460 | 3 | 1.400 | 76 | 87 | 105 |
| Mattoni a 2 fori | 1,10 | 500 | 1,8 | 900 | 70 | 80 | 96 |
| Mattoni a 4 fori | 1,20 | 420 | 2,2 | 900 | 83 | 95 | 115 |
| Mattoni a 6 fori | 1,00 | 400 | 2,3 | 900 | 88 | 100 | 120 |
| Tegole piane | 1,60 | 320 | 2,8 | 900 | — | — | 150 |
| Blocchi forati A | 2,0 | 160 | 5,6 | 900 | — | — | 300 |
| Blocchi forati B | 2,0 | 84 | 8,8 | 740 | — | — | 570 |
| Blocchi forati C | 1,9 | 120 | 7,5 | 900 | — | — | 400 |
| Blocchi forati D | 1,7 | 120 | 7,3 | 880 | — | — | 400 |

| Laterizio | Coefficienti | | | | Totale ore per 1000 pezzi | Costo totale per 1000 (a L. 270) |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|--|
| | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | | |
| Mattoni pieni | 1,1 | 0,9 | 1 | 1,05 | 1,04 | 280 |
| Mattoni a 2 fori | » | 0,84 | » | » | 0,98 | 265 |
| Mattoni a 4 fori | » | 0,87 | » | » | 1,00 | 270 |
| Mattoni a 6 fori | » | 0,87 | » | » | 1,00 | 270 |
| Tegole piane | » | 1,4 | » | » | 1,72 | 465 |
| Blocchi forati A | » | 2,7 | » | » | 3,10 | 810 |
| Blocchi forati B | » | 4,0 | » | » | 4,60 | 1.250 |
| Blocchi forati C | » | 3,5 | » | » | 4,05 | 1.100 |
| Blocchi forati D | » | 3,4 | » | » | 3,95 | 1.070 |

TABELLA XIV

*Ripresa e carico su autotreni
manualmente*

| Laterizio | N. in un pacco | Ripresa | Trasporto | Scarico | Tempo totale primi | Costo a L. 280 L. | Costo per 1000 per L. |
|------------------------|----------------|---------|-----------|---------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| Mattoni pieni | — | — | — | — | — | — | — |
| Mattoni a 2 fori . . . | | | | 1' | 4 | 19 | 225 |
| Mattoni a 4 fori . . . | | | | 1' | 4 | 19 | 225 |
| Mattoni a 6 fori . . . | | | | 1' | 4 | 19 | 225 |

TABELLA XV
Uso di carriole tipo svedese con piano caricatore

fonte di incidenti, tratteggiando in nero i punti più pericolosi.

Gli ammodernamenti - I ridimensionamenti - Le riconversioni

Più difficile è l'armonizzazione del macchinario e degli impianti quando si debbano utilizzare fabbricati esistenti.

Il tema diventa in un certo modo obbligato, almeno per quanto riguarda i confini della disposizione planimetrica.

In questi casi utilissimo è l'uso delle sagome per studiare gli spostamenti.

In linea di massima, definito il ciclo prescelto, è necessario svilupparlo nel modo migliore possibile, compatibilmente coi fabbricati, eliminando strozzature e ristagni.

Le macchine inutili, vecchie, superate, che tante volte ingombrano inutilmente i saloni, bisogna avere il coraggio di venderle, magari come rottame, sfoltando gli ingombri e riducendo l'energia spesa.

In un grande stabilimento, per non vendere delle vecchie macchine quasi sempre inutilizzate, si avevano file di 20-30 operatrici attaccate alla stessa trasmissione delle quali lavoravano sì e no 5 macchine per volta.

Ogni fila era comandata da un motore da 50 CV. Eliminate le macchine inutili e di tipo sorpassato e motorizzate le poche utili, si ebbe una riduzione ad un terzo dell'energia spesa, e in un solo salone si poterono installare le macchine di 3 saloni, eliminando costosi trasporti orizzontali e verticali e riducendo a metà il personale pur aumentan-

TABELLA XVI - *Confronto economico fra i costi di due fabbricati a un piano e a quattro piani*

| Elementi da prendere in considerazione | Fabbricato a piani | |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
| | quattro | uno |
| Area lorda dei pavimenti . . m ² | 6.600 | 6.600 |
| <i>Occupazione dell'area</i> | | |
| Pilastri m ² | 260 | 130 |
| Montacarichi ed elevatori . . » | 140 | |
| Gradini delle scale » | 190 | |
| Pianerottoli d'accesso » | 330 | |
| Muri perimetrali » | 280 | 170 |
| Totale spazio occupato » | 1.200 — 1.200 | 300 — 300 |
| Superficie utilizzabile » | 5.400 | 6.300 |
| Perdita percentuale | 18% | 4,5% |
| Superficie di terreno necessaria » | 2000 | 8.000 |
| COSTI | | |
| Costo del fabbricato L. | 130.000.000 | 99.000.000 |
| Costo del terreno (Lire 1000 al m ²) » | 2.000.000 | 8.000.000 |
| Costo totale » | 132.000.000 | 107.000.000 |
| Costo per m ² di pavimento . . . » | 132.000.000 6.600 = 20.000 | 107.000.000 6.600 = 16.213 |
| Costo per m ² di pavimento utile » | 132.000.000 5.400 = 24.445 | 107.000.000 6.300 = 16.985 |

Per i costi d'esercizio deve considerarsi la spesa per accessori e montacarichi per il fabbricato a più piani.

do la produzione e migliorando la sorveglianza e quindi il prodotto.

Concludendo, in tutte le nostre industrie elevatissime economie si possono ottenere, non mediante severi controlli sull'attività della mano d'opera, ma studiando il miglioramento dei

metodi, il che non vuol dire spendere grandi capitali per macchine nuove, ma vuol dire invece spremere un poco le meningi per trarre il massimo partito da quanto esiste e per utilizzare meglio le macchine, mediante appropriate, semplicissime e poco costose attrezzature.

COMPORAMENTO DELLE FUNI SOGGETTE ALLA PRESSIONE DEL VENTO E ALLE ESCURSIONI TERMICHE NELLA GRANDE TESATA DELL'ATTRAVERSAMENTO ELETTRICO DELLO STRETTO DI MESSINA

RIASSUNTO. — Si dà notizia del comportamento delle funi nella grande tesata di 3644 metri di proiezione orizzontale sotto l'azione del vento e delle escursioni termiche e si giustifica tale comportamento che era prevedibile in base ai dati sperimentali già raccolti nelle grandi tesate funiviarie.

Il comportamento delle funi nella grande tesata dell'attraversamento elettrico dello Stretto di Messina (fig. 1) ha dato luogo a qualche perplessità quantunque tale comportamento fosse stato da me previsto in sede di discussione di progetto.

Il calcolo delle tesate investite dal vento, elaborato coi sistemi in uso per i conduttori elettrici (1), aveva portato i progettisti a queste previsioni:

1) Con 100° C massimi di escursione termica, corsa prevedibile del contrappeso

$$100 \times 5000 \times 12 \times 10^{-6} = 6 \text{ metri}$$

2) Con un vento capace di esercitare la pressione di 130 kg/m² inclinazione a 45° del piano contenente la catenaria ed escursione massima del contrappeso metri 51.

In totale l'escursione massima prevista era di 51 + 6 = 57 metri e per non costruire una torre troppo alta, tenuto conto del momento rovesciante e delle sollecitazioni sismiche si decise di far lavorare il contrappeso con due tratti di fune tenditrice e puleggia mobile, riducendo così a metà la corsa.

Avendo io assicurato, in base all'esperienza fatta alle grandi tesate funiviarie del Cervino e del Monte Bianco, che il contrappeso si sarebbe mosso ben poco, la corsa totale utile di 57/2 metri venne ridotta ulteriormente a metà, per prudenza però l'ing. Toscano volle aggiungere alla torre di contrappesatura un elegante dispositivo di regolazione dell'azione del contrappeso, basato sulla divaricazione dei due tratti di fune di sostegno, sì che man mano il contrappeso si avvicina al finecorsa superiore la sua azione aumenta.

Risolto, dopo il problema della progettazione, l'altro non meno difficile del montaggio, osservando il comportamento delle funi si constatarono cose interessanti.

Scrivendo l'ing. Toscano nella chiara sua relazione:

«La grande sorpresa si è avuta in merito agli spostamenti dei contrappesi, per una misura

di precauzione i contrappesi erano stati posti a m. 6,50 dal fondo corsa inferiore, presumendo che nei primi mesi i conduttori avrebbero subito un certo allungamento permanente, secondo le buone norme comuni a tutte le funi.

«Invece è avvenuto che nel periodo trascorso dalla loro messa in opera, che è ormai di 6 mesi, non si è verificato nessun allungamento.

«Una spiegazione di questo fenomeno può essere data dal fatto che, durante la loro messa in opera, essi hanno subito, attraverso l'argano freno, tutto l'allungamento permanente in una volta; ma questo non può esimere la fune dall'allungarsi almeno un tantino in sei mesi. Inoltre il conduttore non risente delle variazioni di temperatura o meglio la posizione che i contrappesi hanno assunto alla fine della tesatura è rimasta per sei mesi inalterata, senza variare dal giorno alla notte; il che non è imputabile ad attriti negli organi di contrappesatura in quanto questi si muovono anche a mano.

«Ma l'osservazione più interessante è che il contrappeso è assolutamente insensibile al vento; si sono già verificati venti che hanno raggiunto i 50-60 km/h con inclinazione sensibile delle catenarie, ma il contrappeso non ha dato alcun segno di reazione.

«Ciò potrebbe far pensare ad un effetto di portanza del vento, nel senso che il vento inclina le catenarie, ma tende anche a sollevare le funi. In conclusione, fino ad oggi, ci si domanda per quale motivo siano state costruite le torri per la contrappesatura».

Questo comportamento, per me tutt'altro che strano, dei contrappesi, era stato da me previsto per le seguenti ragioni:

1) L'esperienza cui sopra ho accennato insegna che anche fortissimi venti trasversali non fanno praticamente muovere i contrappesi delle grandi tesate delle portanti scariche.

2) Nelle grandi tesate gli effetti delle deformazioni termiche sono validamente contrastati da quelli delle deformazioni elastiche delle funi

(1) Si veda la mia nota: «Azione del vento sulle funi».

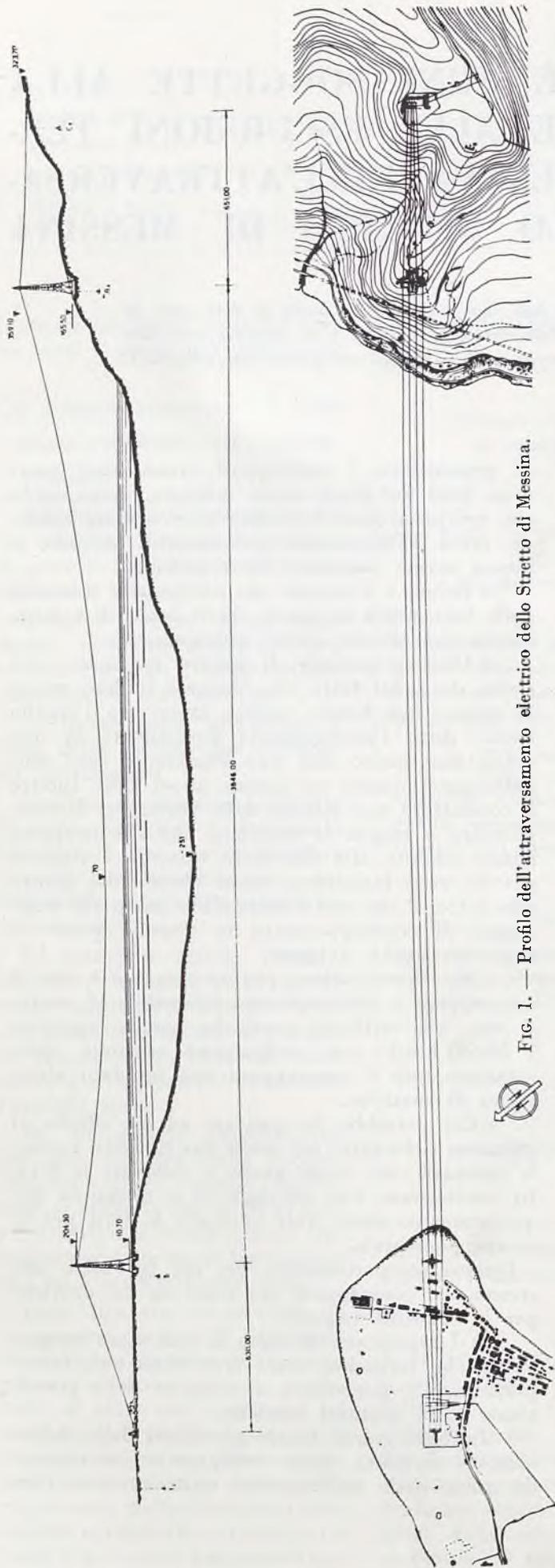


FIG. 1. — Profilo dell'attraversamento elettrico dello Stretto di Messina.

che hanno sempre segno contrario a quello delle prime (1).

Può essere qui interessante studiare con metodi approssimati, più che sufficienti per fornire l'ordine di grandezza del fenomeno, il comportamento della grande tesata dell'attraversamento.

Per la tesata centrale si ha:

- lunghezza della proiezione orizzontale $l = 3646$ m;
- dislivello fra Cariddi e Scilla $h = 154,80$ m;
- lunghezza della corda geometrica della tesata $C = 3651$ m.

Le funi utilizzate come conduttori pesano kg 2,7 al metro ed hanno la superficie utile della sezione metallica di 305 mm^2 d'acciaio e 45 mm^2 d'alluminio puro, con una superficie ideale di acciaio di

$$A_i = 305 + 45 \frac{700.000}{2.100.000} = 320 \text{ mm}^2 \text{ circa.}$$

Come tensione T sul pilone di Cariddi ho assunto $T = 22000$ kg, corrispondente all'incirca ad una freccia di 211 metri, che lascia un franco di 70 metri sul mare, quale è attualmente.

Sono state calcolate le frecce per i valori di $T = 22000 - 21000 - 20000$ kg i relativi allungamenti ΔL rispetto alla corda e le deformazioni $\Delta \Delta L$, corrispondenti alle variazioni di tensione di 1000 in 1000 kg.

Tali dati sono riassunti nella tabella I.

TABELLA I

Tensioni T a Cariddi e corrispondenti frecce in mezzzeria, variazioni di lunghezza e variazioni di 1000 in 1000 kg

| Tensione T sul pilone di Cariddi kg | Freccia f in mezzzeria m | Lunghezza corrispondente m | Variazione di lunghezza ogni 1000 kg $\Delta \Delta L$ m |
|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------|--|
| 22.000 | $f = 208$ | $C + 31,6$ | 0 |
| 21.000 | $f = 218$ | $C + 34,8$ | 3,2 |
| 20.000 | $f = 228$ | $C + 38,0$ | 6,4 |

La deformazione termica per ogni grado di variazione può ritenersi

$$\Delta L_t = 3.682 \times 0,0000117 \times 1^\circ = 0,047 \text{ m.}$$

La deformazione elastica per 1000 kg di variazione di tensione

$$\Delta L_e = \frac{3.682 \times 1.000}{0,000320 \times 15 \times 10^9} = 0,77$$

(1) Si veda la mia nota: « Effetti dell'allungamento elastico sulle variazioni di tensione indotte dalle escursioni termiche ».

essendo 0,0000117 il coefficiente di dilatazione termica della fune

320 mm² la sezione ideale della fune
15000 kg/mm² il valore di E_f modulo di elasticità della fune
3682 metri la lunghezza della fune.

Per 50° C di escursione termica, massimo che ritengo si sarà verificato nel periodo esaminato, la deformazione termica è

$$50 \times 0,047 = 2,35 \text{ m.}$$

Poichè la deformazione elastica contrasta lo allungamento termico, come si è visto, ad un allungamento termico che diminuisce la tensione si accompagna un accorciamento elastico, e per l'equilibrio, tenuto conto del fatto che la variazione geometrica di lunghezza dipende dalla tensione mediante la

$$\Delta L = \frac{3,2}{1.000} \Delta T$$

si può impostare l'equazione

$$\frac{3,2}{1.000} \Delta T = - \frac{0,77}{1.000} \Delta T + 2,15$$

dalla quale si ottiene $\Delta T = 542 \text{ kg.}$

D'altro lato la reazione della fune sulla rulliera di Cariddi, tenuto conto dell'equipaggiamento e degli accessori non è certo lontana dai 14000 kg per cui con un coefficiente generale d'attrito di 0,05, tutt'altro che esagerato per un cingolo chiuso ad anello e funzionante all'aperto, la resistenza d'attrito può ritenersi attorno ai $0,05 \times 14000 = 700 \text{ kg.}$

Ne segue che l'escursione termica può superare anche i 50° C senza aver la forza di vincere la resistenza d'attrito dell'appoggio. Per questo il contrappeso non è soggetto a movimento.

Principi di progetto, uso e manutenzione degli apparecchi di sollevamento industriali in rapporto alla sicurezza del loro esercizio

Altri Autori, più autorevolmente di me, precisano i dettagli relativi alla sicurezza degli organi e degli apparecchi specifici di sollevamento, a me spetta il compito di fissare alcuni concetti fondamentali che definiscono i limiti fra carichi di sicurezza e durata, fra vita utile e pericolo di rottura, tenendo conto di quegli strani e paurosi fenomeni che un tempo si attribuivano esclusivamente alla fatica ed oggi ci hanno portato ai concetti molto recenti di fragilità dei materiali duttili, fragilità che, come l'esperienza insegna, può essere dovuta al materiale o alla sua forma o alle sue sollecitazioni.

Carico di sicurezza è quella sollecitazione massima del materiale che è tanto lontana dal carico di rottura da consentire una assoluta sicurezza di funzionamento anche se si tien conto di sforzi secondari non ben determinati e di sovraccarichi, volontariamente o no, aggiunti ai massimi carichi normali e previsti.

Al carico di sicurezza corrisponde un « grado di sicurezza », come rapporto fra il carico di rottura e il massimo carico di esercizio.

Per gli apparecchi funzionanti a grande intermittenza e con velocità molto modesta, come quasi sempre avviene per quelli a comando manuale, il carico di sicurezza degli elementi sollecitati, considerati staticamente, è ancora determinante, ci si limita soltanto ad utilizzare dei gradi di sicurezza superiori, talvolta

addirittura doppi di quelli afferenti alle semplici strutture. Ciò indica che ancora, in questi casi, si considera ammissibile mantenere per ogni elemento un grado di sicurezza costante. Ciò appare tanto più vero se si considera che le caratteristiche costruttive (chiavelle, intagli, fori, filetti) e le inevitabili differenze nell'omogeneità dei materiali anche se dotati di eguali caratteristiche di resistenza, influiscono grandemente sulla reale capacità di ognuno a resistere ad un determinato carico.

In tali condizioni, è buona abitudine scegliere opportunamente un elemento, più degli altri sollecitato affinché nel caso di carico eccessivo possa cedere per il primo senza provocare inconvenienti.

Il compito che si affida a tale organo è quello ben noto di valvola o limitatore di sforzo; un tempo si sceglieva allo scopo un elemento capace di deformarsi senza rompersi e senza provocare pericoli o danni; è noto che i costruttori americani di paranchi a mano usano fucinare il gancio di sollecitamento in acciaio dolce ricotto affinché, in caso di eccesso di carico, esso si deformi senza rompersi, allargando l'apertura di quel tanto che basta per rendere evidente l'eccesso di carico, senza perciò che vi sia alcun pericolo per la caduta appositamente allungato.

Questa deformazione è evidentemente molto meno pericolosa della rottura di una maglia della catena del carico stesso, che rimane trattenuto dal forte becco

che determinerebbe senz'altro la caduta del carico. (fig. 1).

Oggi, come limitatore di sforzo, si preferisce utilizzare, quando è possibile, un giunto a frizione che impedisca la trasmissione di sforzi eccessivi pur consentendo sempre un collegamento positivo fra le parti che esso connette.

Influenza della fatica. Quando gli apparecchi di sollevamento sono destinati a funzionare con una certa continuità e velocemente, al concetto usuale di grado di sicurezza a rottura conviene senz'altro sostituire quello di sicurezza a fatica.

Ciò vuol dire che si considera anche il fattore durata.

Questo perchè, come è noto, subentra nel comportamento degli organi sollecitati la fatica che, dopo un numero di cicli più o meno grande, può diminuire notevolmente le facoltà iniziali di resistenza dell'organo portandolo a rapida rottura.

Anche nel caso della fatica possiamo, almeno in teoria, scendere a sollecitazioni unitarie così basse che assicurino all'organo progettato una durata indefinita.

Ma, in pratica, ad una concezione così prudente si oppongono ragioni economiche e ragioni costruttive.

Dal punto di vista economico è preferibile il ricambio, di tanto in tanto, di un organo chiaramente degradato, piuttosto dell'aggravio di peso e di costo necessario per assicurare ad esso in ogni caso una durata indefinita.

Quasi sempre però sono le caratteristiche funzionali della macchina che malauguratamente impongono una durata breve per poter realizzare apparecchi per i quali la leggerezza ha esigenze imperiose, come avviene per quasi tutti gli apparecchi di trasporto e sollevamento, in particolare, ad esempio per gli elicotteri che sono entrati ormai in pieno tra i più interessanti apparecchi di sollevamento delle zone impervie e montane.

Ma anche per organi più comuni noi siamo ormai abituati a valutare la durata e non una esistenza indefinita, valgano come esempio le funi che prima o poi debbono essere cambiate perchè danno segno di pericolose degradazioni.

Quale che sia però la durata prestabilita per un determinato organo è sempre necessario stabilire il momento della sua vita nel quale esso dà segni di un pericolo imminente, il concetto di grado di sicurezza si trasforma; in questo caso, non è più il rapporto fra il carico di rottura e il carico massimo di lavoro, ma bensì il rapporto fra la vita prevedibile e la vita utile.

Le rotture pericolose sono perciò quelle che avvengono, di solito, improvvisamente, senza segni premonitori.

In una fune d'acciaio di buona fattura la rottura improvvisa non avviene mai, essa si presenta sempre dopo un susseguirsi regolare, secondo un diagramma che assume approssimativamente una forma iperbolica, di usure e rotture dei singoli fili.

Seguendo il comportamento della fune e tenendo conto del diagramma delle rotture è possibile scegliere sulla curva un punto al quale corrisponde un ulteriore periodo di vita possibile che va considerato come riserva di sicurezza. Giunti a questo punto si può ritenere che la fune abbia compiuto il suo ciclo di vita utile e debba essere senz'altro cambiata.

Analogamente un organo strisciante che prende gioco, come una testa di biella, indica nettamente con fenomeni inequivocabili la sua funzionalità ridotta e provoca per forza il ricambio.

Per contro la rottura brutale, senza segni premonitori, di alcuni organi, come la catena di un paranco, (fig 1) lo sterzo di un'auto, le ali dei rotor di un elicottero, gli scafi delle navi, e mille altri incidenti analoghi possono provocare gravi disastri.

Molte di queste pericolose rotture sono da attribuirsi senz'altro alla fatica. (fig. 2)

Se qualche diecina di anni fa, anche dopo le geniali esperienze del Wöhler del Wood del Cox del Forsyth, questo fenomeno impreveduto della facoltà di affaticarsi e di invecchiare dei materiali, così come avviene agli uomini, portò un certo disorientamento nelle concezioni tradizionali dei progettisti, oggi noi siamo, anche grazie al microscopio elettronico, sufficientemente edotti su tutti i particolari del comportamento dei materiali affaticati, sappiamo che essi, se soggetti a sforzi o ondulanti, o ripetuti o, peggio, alternati, secondo cicli che si ripetono un numero sufficiente di volte, ma sempre molto elevato, possono dar luogo a rotture sotto carichi molto più bassi di quelli statici sopportabili, mediante fratture nette, analoghe a quelle che si osservano nei materiali fragili.

Sappiamo che il ripetersi dei cicli provoca lo sviluppo di piani di scorrimento a gradini, o piani atomici paralleli ad un asse cristallino che corrono attraverso uno o più grani cristallini. Dopo un certo numero di cicli i piani di scorrimento, sempre più numerosi, danno luogo allo sviluppo di cricche dovute al fatto che nell'immediata vicinanza di più piani di scorrimento molto accostati il materiale si spezza in cristallini debolmente collegati fra loro. Le cricche, da ultramicroscopiche, divengono microscopiche, poi si collegano, dando luogo quasi sempre alla caratteristica rottura di fatica.

Sappiamo ancora che il ciclo d'isteresi corrispondente ad ogni ciclo di sollecitazione, presenta i seguenti stadi:

1) quello preliminare con allargamento del ciclo;

2) quello primario durante il quale il ciclo si restringe per tendere ad un ciclo costante;

3) quello secondario nel quale il ciclo è praticamente costante. Se il valore del carico ripetuto è tale che il materiale può sopportarlo indefinitivamente, il ciclo d'isteresi si chiude;

4) quello ternario durante il quale il ciclo si allarga rapidamente fino a giungere alla rottura.

Il punto nel quale il ciclo rimane costante prima dell'inizio dell'allargamento può ritenersi che indichi il limite della vita utile dell'elemento. (fig. 3)

Questo comportamento è dovuto al fatto che i cristalli dei materiali sono disgiunti da discontinuità fisiche che nei metalli, ad esempio, vanno dalle cricche di Griffith a vere e proprie cavità ultramicroscopiche contenenti gas occlusi, per cui esiste una distribuzione disordinata di grani e di giunti cristallini normalmente più resistenti degli stessi cristalli, tra i quali esistono distribuzioni ugualmente disordinate di sollecitazioni residue, dipendenti dai processi di fabbricazione, la cui grandezza e direzione sono ignote.

Le sollecitazioni indotte dai carichi, sommandosi variamente alle tensioni interne, rompono il preesistente equilibrio.

Le figg. da 4 a 7 illustrano i diagrammi più usati per tener conto delle sollecitazioni di fatica e dell'influenza che sulla resistenza a fatica hanno le caratteristiche del materiale e l'eventuale presenza di fori e di cordoni di saldatura.

La fragilità dei materiali duttili è stata tecnicamente riconosciuta da non molti anni e non pochi sono i tecnici che ancor oggi ne ignorano le principali caratteristiche.

Fu proprio la rottura fragile che trasse per un certo tempo in errore i costruttori i quali attribuirono alla fatica alcune strane rotture di organi meccanici malgrado essi fossero stati soggetti ad un numero ben piccolo di cicli sollecitanti, inferiore certo al minimo necessario per suscitare la sollecitazione di fatica, e malgrado mancasse nella loro frattura, la caratteristica lunula della rottura di fatica.

Ci vollero incidenti ben più spettacolari per attirare l'attenzione degli studiosi sulle rotture per decoesione che i francesi e gli inglesi chiamarono di *décohesion* e i tedeschi *Trennbruch*.

Nei primi mesi del 1938 si verificarono in Germania gravi e inspiegabili fessurazioni nei ponti in acciaio di Berlino (Giardino Zoologico) e di Rüderdorf.

In un mattino molto freddo del 14 marzo 1938 crollò di schianto mentre era completamente scarico, il ponte d'acciaio di Hasselt sul canale Alberto in Belgio, ponte che aveva soltanto pochi mesi di vita ed aveva subito brillanti collaudi statici e dinamici coi massimi carichi di progetto. (fig. 13)

La rottura avvenne istantaneamente, tanto che in un primo tempo si pensò ad un sabotaggio a mezzo di esplosivo.

Le rotture del ponte caduto nel canale, apparvero nette, senza strizione, di tipo chiaramente fragile, come se il ponte fosse stato di vetro.

Poi la strana malattia si estese ad altri ponti dello stesso canale, ma gli studi intrapresi per studiare il fenomeno furono interrotti dalla guerra che provocò la distruzione di tutti i ponti malati.

Però, sempre durante la guerra, fino a tutto il 1° febbraio 1945, ben 722 navi dei tipi Liberty e Victory subirono gravi avarie per fessure aventi caratteri di rotture fragili, 23 navi furono completamente spezzate, 5 vennero totalmente perdute.

Sorse così la teoria, accettata da taluni, avversata da altri, della fragilità dei materiali duttili soggetti ad un campo triplo di tensioni positive.

Un esperimento ormai classico, quello della sfera d'acciaio sottoposta a pressione idraulica per generare nell'involucro un campo triplo di tensioni positive, eseguito dalla Smith Corporation negli Stati Uniti d'America dimostrò chiaramente, con la rottura fragile del duttilissimo acciaio, l'attendibilità della teoria della decoesione.

Dobbiamo a quei gravi incidenti ed agli studi che suscitavano se oggi abbiamo una più chiara idea della fragilità degli elementi meccanici, dovuta, volta a volta, al materiale, alla forma, alla lavorazione, alle sollecitazioni.

Le ricerche di Schnadt, fornendoci un mezzo per controllare da questo punto di vista l'attitudine dei materiali metallici a resistere alle rotture per decoesione, ci permettono oggi di evitare tante rotture inspiegabili un tempo (figg. da 8 a 13).

Per concludere, ricordo che per evitare ogni pericolo i progettisti dovranno adottare elementi non soggetti a campi tripli, evitare intagli e cordoni di saldatura inadatti, utilizzare acciai non invecchiati. Quando campi tripli di tensione positiva sono inevitabili si usino acciai il cui punto elastico sia molto basso, equivalente, ad esempio, a zero venanti, avente cioè un potere plastificante inferiore a 0,433. (fig. 11).

Criteri d'uso. Non molto mi resta da dire sui criteri da seguire nell'utilizzazione degli apparecchi di sollevamento.

E' necessario anzitutto evitare ad essi sollecitazioni anormali che possono provenire non soltanto da eccesso di carico ma anche da condotta irregolare, soprattutto da avviamenti o frenamenti troppo bruschi, atti a suscitare forze d'inerzia troppo ingenti.

Ancor più esiziali possono essere gli urti.

Ricordo che le sollecitazioni considerate abitualmente dai progettisti si riferiscono a carichi applicati

gradualmente, è noto che la sola applicazione non graduale del carico, pur senza urto, provoca una sollecitazione iniziale doppia di quella di regime.

L'urto esalta notevolmente le sollecitazioni, esso può provocare sovraccarichi da cinque a dieci volte quelli di regime. E' evidente che in questi casi i gradi di sicurezza abituali, per quanto possano essere prudenti, risultano del tutto insufficienti.

Questa osservazione è particolarmente valida soprattutto per quelle macchine che sono dotate di apparecchi di sicurezza agenti automaticamente in caso di rottura di un organo di sospensione. Esempio: gli apparecchi di sicurezza agenti in caso di rottura delle funi di un montacarichi o di un ascensore.

Poichè il loro intervento avviene a causa di una caduta, essi funzionano sempre con urto, anche se dotati di ammortizzatori, e dato che per regolamento si debbono provare frequentemente, debbono essere attentamente verificati dopo ogni prova, per assicurarsi che nessun organo si sia inceppato o incrinato o deformato, altrimenti al momento del bisogno mancheranno quasi certamente al loro scopo.

Manutenzione. E' questo, dopo la progettazione, forse il più importante fattore che può garantire agli apparecchi di sollevamento un funzionamento sicuro, scevro da pericoli.

Gli Ispettori dell'ENPI possono dirci quanti incidenti, talvolta molto gravi, si debbono ascrivere a catene e funi eccessivamente logore, non controllate regolarmente e non sostituite a tempo, od a freni e apparecchi di sicurezza, logori, senza gioco sufficiente, bloccati da polvere e grasso indurito, o, addirittura, già

lesionati per aver funzionato anormalmente in precedenza.

Non basta che la manutenzione sia scrupolosa, diligente e continua, essa deve essere soprattutto preventiva, deve cioè intervenire in tempo, quando gli organi stanno per raggiungere quel limite della loro vita attiva oltre il quale la loro durata volge rapidamente alla fine.

E' perciò buona regola tenere sempre, per ogni apparecchio di sollevamento, la consueta scheda di macchina, dalla quale deve risultare ogni particolare del servizio reso dalla macchina, e in particolare su di essa si segneranno le visite periodiche, le relative osservazioni, le date delle piccole e grandi revisioni coi ricambi eseguiti e le prove di controllo.

Soltanto in questo modo, prefissando in base ad esperienza e a controllo gli intervalli per i vari interventi, si possono evitare ritardi, dimenticanze ed errori troppo frequenti e che troppo spesso si pagano molto cari non soltanto da parte di coloro che hanno il compito di provvedervi, ma anche, purtroppo, da parte di innocenti utilizzatori che si fidano di gradi di sicurezza e di dispositivi antinfortunistici ormai inefficienti.

Se provvidenziale è perciò il nome scelto per l'Ente che si intitola alla prevenzione degli infortuni, ben più provvidenziale è l'opera che esso svolge con assidua inesausta cura, e noi come uomini e come tecnici non possiamo che felicitarci con coloro che presiedendo con tanto entusiasmo ad un'opera altamente civile ne fanno più che una professione, lo scopo della loro vita, vale a dire un vero e proprio sacerdozio di umanità.

Relazione generale presentata dall'A. al Convegno nazionale di Genova sulla sicurezza degli apparecchi di sollevamento industriali (9-10 maggio 1959).

NOTE

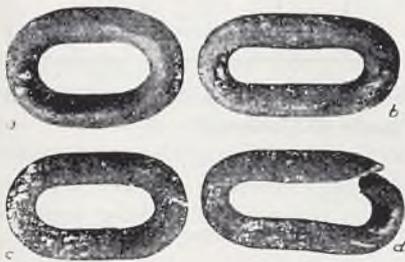


Fig. 1 - Catena affaticata i cui anelli in acciaio dolce pudellato essendo fortemente incruditi male resistono agli urti del sollevamento. (Baes)

a) maglia incrudita all'inizio della rottura sotto carico di 13,1 tonn.

b) maglia ricotta che non dà ancora segni di rottura sotto carico di 21,8 tonn.:

La maglia a) era arrivata a rottura senza allungamento apparente, la seconda, già prima di rompersi, ha subito un allungamento plastico di 16 mm. su 103 mm. di lunghezza iniziale;

c) maglia completamente fessurata, con rottura senza strizione. Prime fessure sotto carico di 15,6 tonn., rottura completa a 16,7 tonn.;

d) maglia ricotta: rottura sotto carico di 20,1 tonn. dopo un allungamento di 21 mm. su 103. La rottura è avvenuta lungo la superficie di bollitura.

Le stesse maglie, dopo la ricottura, richiedevano un lavoro di deformazione, per giungere a rottura, circa 25 volte superiore a quello necessario per le maglie incrudite.

La catena affaticata aveva perduto la facoltà di assorbire, durante gli inevitabili urti del sollevamento, un lavoro sufficientemente elevato, la semplice ricottura ha migliorato tale essenziale facoltà almeno di 25 volte.

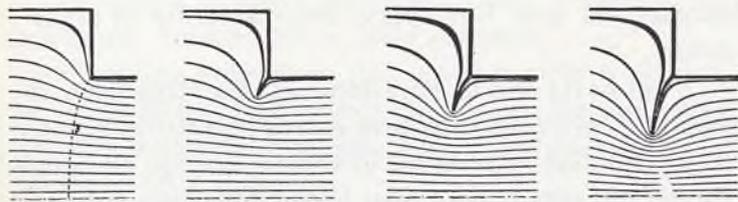


Fig. 2 - Alla base di tutte le rotture fragili vi è sempre un intaglio. Pericolo di rottura e avanzamento della rottura in una diminuzione di diametro senza raccordo. Lo schiacciamento delle linee di flusso favorisce la formazione di un sistema doppio di sollecitazioni positive nel punto d'intaglio, la rottura che avanza per fatica avviene come se il materiale fosse fragile.

L'intaglio può essere prodotto anche da un cordone di saldatura non appropriato ed è molto più pericoloso negli acciai duri a bassa resilienza.

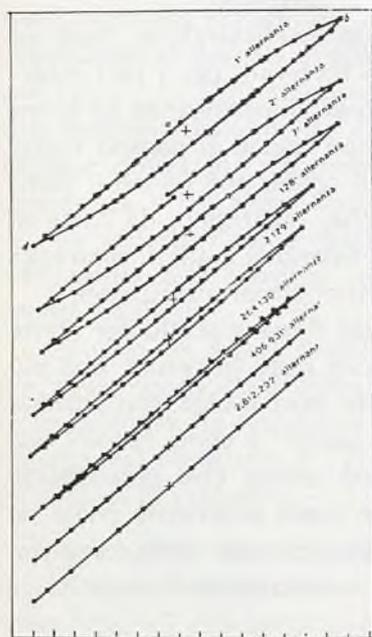


Fig. 3 Ciclo di isteresi per un materiale sollecitato entro i limiti di vita utile (Cough).

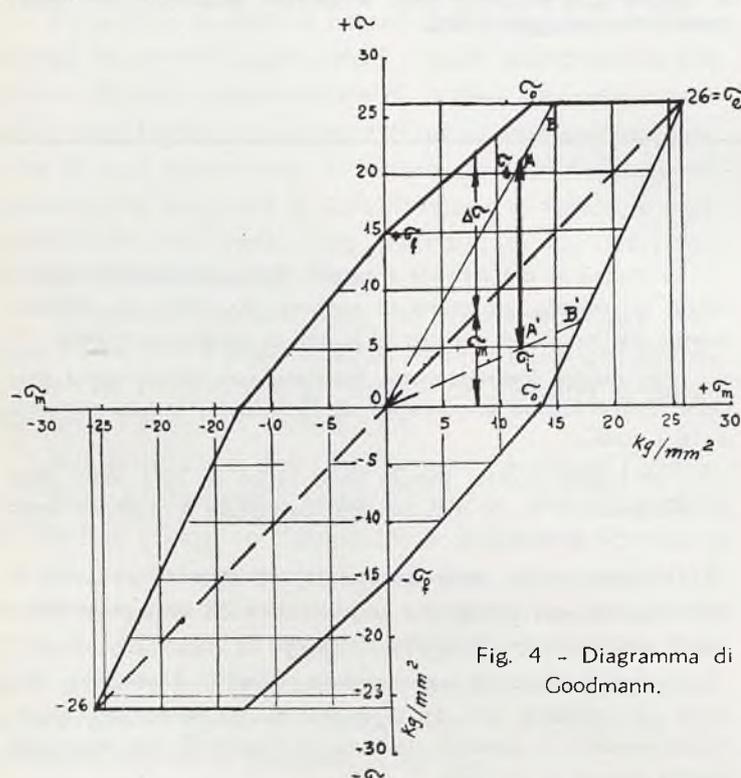


Fig. 4 - Diagramma di Goodmann.

Sull'asse delle ascisse sono contate le sollecitazioni medie

$$\sigma_m = \frac{\sigma_s + \sigma_i}{2}$$

Sull'asse delle ordinate sono segnate le sollecitazioni unitarie positive σ (trazione) e negative (compressione) per un acciaio A37

Le coppie di sollecitazioni che escono dalla spezzata chiusa del diagramma su di una stessa verticale danno luogo a rottura, le coppie sulla spezzata sono al limite, le coppie interne hanno un certo grado di sicurezza.

La sollecitazione σ_e è quella al limite di elasticità

La sollecitazione σ_0 è quella originaria per sollecitazioni ripetute fra σ_0 e 0

La sollecitazione σ_r è quella per le sollecitazioni alternate fra $+\sigma_r$ e $-\sigma_r$ normalmente chiamata di fatica.

La diagonale a tratti inclinata di 45° si può ritenere la mediana della superficie racchiusa dalla spezzata e la sollecitazione massima ammissibile su di una determinata verticale può considerarsi costituita dalla sollecitazione σ_m dall'asse delle ascisse fino alla mediana, più l'incremento contato dalla mediana al contorno superiore $\Delta\sigma$ per cui su quella verticale $\sigma_s = \sigma_m + \Delta\sigma$.

Per una sollecitazione caratterizzata dalla AA' compresa fra la sollecitazione superiore σ_s e la sollecitazione inferiore σ_i i gradi di sicurezza convenzionali sono dati per

$$\text{la } \sigma_s \text{ dal rapporto } S_s = \frac{OB}{OA}; \text{ per la } \sigma_i \text{ dal rapporto } S_i = \frac{OB'}{OA'}$$

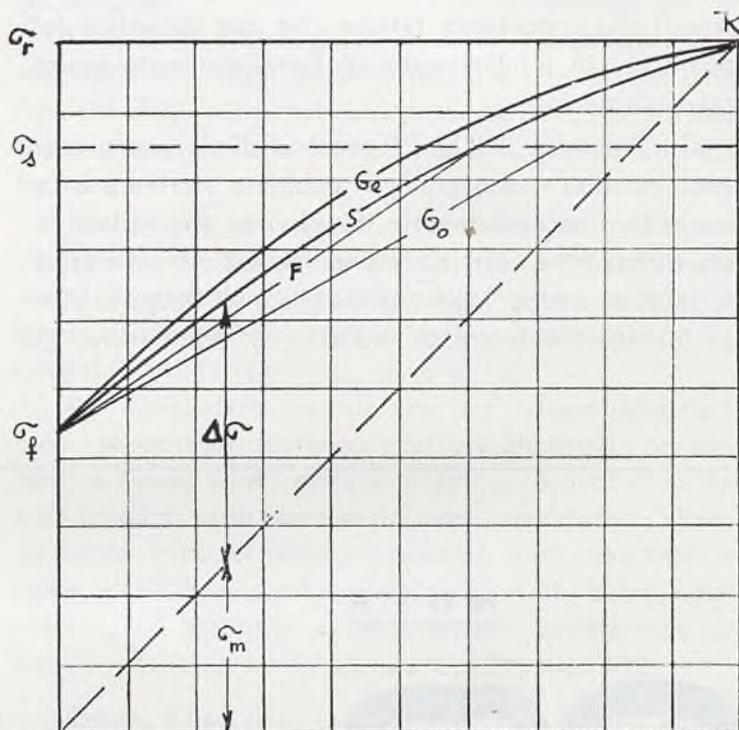


Fig. 5 - Varie curve limiti dei diagrammi della zona di sicurezza derivati da quello di Goodman.

Detti σ_m = sollecitazione media

σ_r = carico di rottura a sollecitazione statica

σ_r = carico di rottura a sollecitazione alternata (fatica)

si può ritenere che tutte le curve limiti ricavate finora sperimentalmente rispondano con discreta approssimazione all'espressione

$$\Delta\sigma = \sigma_r \left(\frac{\sigma_r - \sigma_m}{\sigma_r} \right)^{1/n}$$

Per $n = 1$ si ricade nell'ipotesi di Goodman

$n = \infty$ si ottiene $\Delta\sigma = \sigma_r$ e il limite superiore è definito da una retta a 45° parallela alla mediana, quale risulta per alcuni materiali soggetti a compressione ondulante.

Nel diagramma la G_0 rappresenta la retta di Goodman, G_e rappresenta la curva limite secondo Gerber, di tipo parabolico corrispondente alla

$$\Delta\sigma = \sigma_r \left[1 - \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_r} \right)^2 \right];$$

la F la retta limite di Fischer che però, contrariamente a quella di Goodman, non converge nel punto R che rappresenta il carico di rottura; la S rappresenta una curva sperimentale.

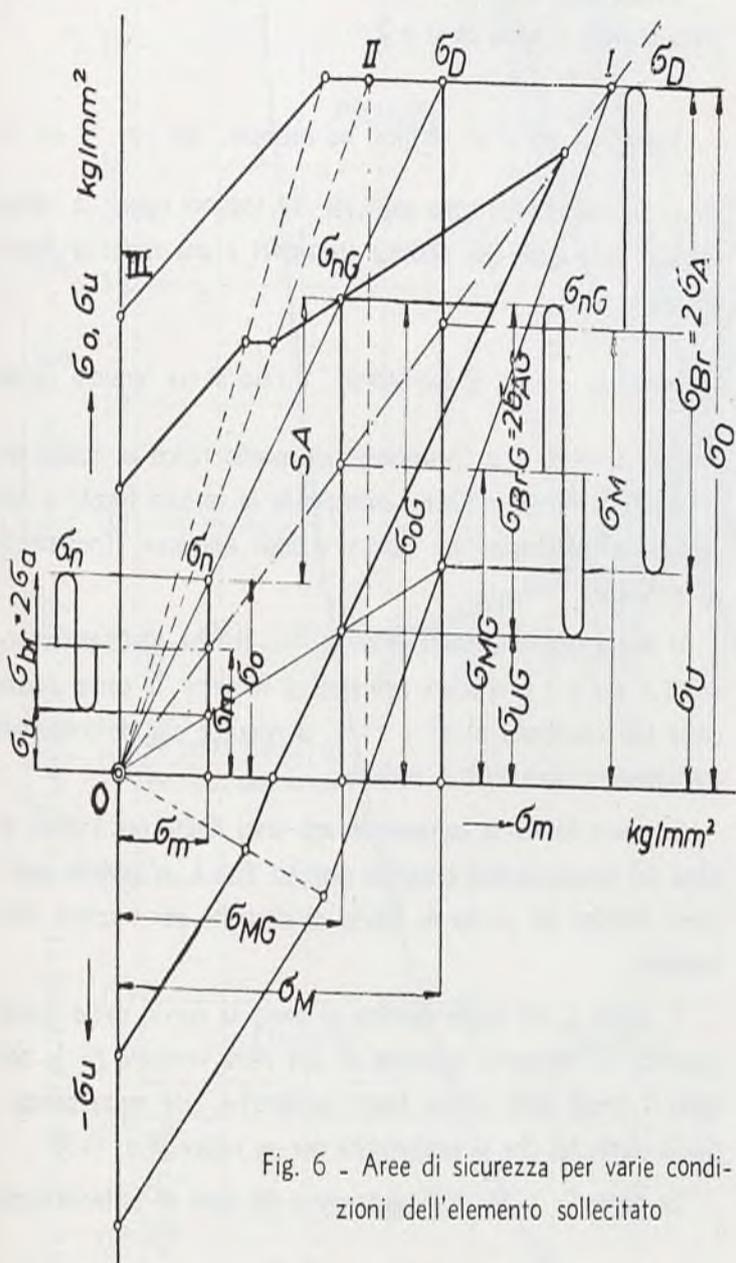


Fig. 6 - Aree di sicurezza per varie condizioni dell'elemento sollecitato

Col criterio già esposto nella fig. 4, definito il contorno della superficie limite mediante la spezzata in linea sottile, in base ad un grado di sicurezza determinato, ad esempio

$$S = \frac{O G_{II}}{O G_{IIc}}$$

si traccia il contorno della superficie avendo come limite il grado di sicurezza S in linea più grossa. Ne segue che, ad esempio, dalla coppia σ_b, σ_u posta sulla spezzata limite si passa a quella σ_{nc}, σ_{uc} , posta sulla spezzata di grado di sicurezza S . Se poi l'elemento da calcolare presenta particolari costruttivi tali da richiedere una ulteriore riduzione nelle sollecitazioni σ_{nr}, σ_{ur} , si introduce una seconda S' per cui la coppia σ_{nc}, σ_{uc} diventa la coppia σ_n, σ_u .

Come sempre il punto I si riferisce al carico statico, il punto II al carico originario, il punto III al carico alternato.

In ogni caso la sollecitazione superiore $\sigma_s = \sigma_m + \Delta\sigma$.

Nei tre casi qui contemplati:

$$\sigma_0 = \sigma_m + \sigma_a; \quad \sigma_0 = \sigma_{MG} + \sigma_{GA}; \quad \sigma_0 = \sigma_m + \sigma_a$$

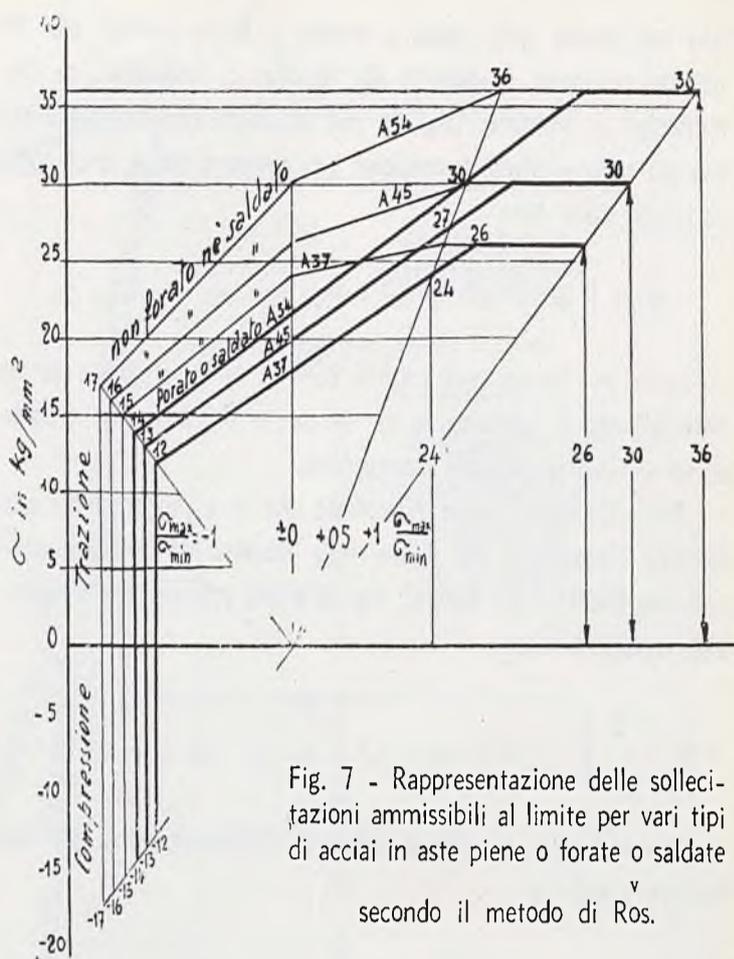


Fig. 7 - Rappresentazione delle sollecitazioni ammissibili al limite per vari tipi di acciai in aste piene o forate o saldate secondo il metodo di Ros.

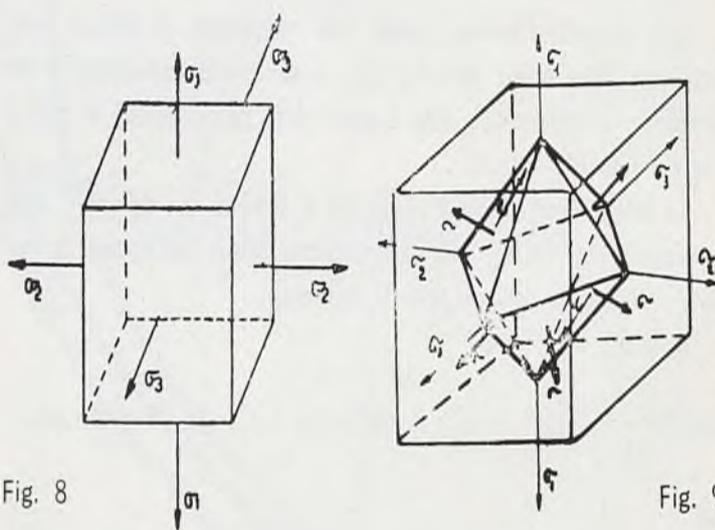


Fig. 8

Fig. 9

Fig. 8 - Elemento cubico a tre tensioni principali $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$
 Fig. 9 - Elemento cubico soggetto a tensioni principali $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, tensioni principali normali σ , tensioni tangenziali sulle facce dell'ottaedro, (Ros) τ

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_1 \sigma_3}$$

FRAGILITA' DEI METALLI DUTTILI.

E' noto che secondo Ros (1) le numerose esperienze da lui dirette nel Laboratorio Federale di Prova dei Materiali di Zurigo giustificano quella che Egli chiama la teoria generalizzata di Mohr che, così enunciata, concorda con l'ipotesi di Huber-Mises-Hencky sulla costanza dell'energia specifica di cambiamento di forma per scorrimento o energia di massima distorsione agli stati limite.

Sempre secondo Ros per un elemento di metallo duttile del tipo dell'acciaio o dell'avional, nel quale il cubetto elementare iso-

(1) M. Ros - Qualité des matériaux et sécurité - Annales de l'Inst. Tech. du Bâtiment - Sept. 1948 n. 41.

lato nell'interno della massa e avente le faccie normali alle tre tensioni principali, è soggetto alle tensioni σ_1 (massima), σ_2 (intermedia), σ_3 (minima); (fig. 8), può assumersi come rappresentativa del sistema triplo di tensione, una tensione ideale, o di comparazione, data dalla

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_1 \sigma_3}$$

Se $\sigma_3 = 0$; $\sigma_i = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$ si passa ad un sistema piano di tensione, se $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$; $\sigma_i = \sigma_1$ si passa ad un sistema di tensione monoassiale.

Ros e Eichinger hanno dimostrato che σ_i è proporzionale alla tensione tangenziale che agisce sulle faccette dell'ottaedro normali alle bisettrici del cubetto (fig. 9) e che tale tensione assume il valore

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_1 \sigma_3}$$

La condizione di rottura, secondo l'interpretazione del Ros equivale a stabilire

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_e \quad (\text{cioè } \sigma_i = \sigma_e)$$

essendo σ_e la tensione al limite di elasticità del materiale in esame.

Ciò, secondo l'Autore, rende tale condizione di rottura indipendente dalla teoria dell'elasticità e dalle relazioni esistenti fra tensioni e deformazioni, essa è applicabile perciò anche al campo plastico fino alla rottura.

La dilatazione cubica è nulla per il sistema $\sigma_1' \sigma_2' \sigma_3'$, esso corrisponde quindi ad una deformazione senza variazione di volume realizzabile per semplice scorrimento.

Il lavoro relativo è

$$L_{ss} = \frac{1}{6 G} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_1 \sigma_3)$$

ove

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_1 \sigma_3 = \sigma_1^2$$

e quindi si può scrivere

$$L_{ss} = \frac{1}{6 G} \sigma_1^2 = \frac{\sigma_1^2}{6 G} \left(\frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2} \right) = \frac{\sigma_1^2}{6 G} \pi^2$$

dando a π il valore

$$\pi = \frac{\sigma_i}{\sigma_1} = \text{potere plastificante} =$$

$$= \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1} \right)^2 - \frac{\sigma_2}{\sigma_1} - \frac{\sigma_3}{\sigma_1} - \frac{\sigma_2 \sigma_3}{\sigma_1 \sigma_1}}$$

L'ipotesi sulla costanza dell'energia di trasformazione porta ad ammettere che per i materiali duttili, omogeneamente sollecitati, il passaggio dal campo elastico a quello plastico avvenga, a parità di materiale, di velocità di applicazione dei carichi, di temperatura, ecc., ad un valore determinato del lavoro specifico di cambiamento di forma per scorrimento, cioè per

$$L_{ss} = \text{cost.}$$

Ma

$$\pi \sigma_1 = \sqrt{6 G L_{ss}}$$

e quindi se L_{ss} deve ritenersi costante agli stati limiti analoghi deve esserlo anche $\pi \sigma_1$.

In un diagramma cartesiano nel quale sulle ascisse si portino i valori di σ_1 tensione principale e sulle ordinate quelli del rapporto $\frac{\sigma_i}{\sigma_1}$ fra la tensione ideale di comparazione e la tensione principale, la curva che fornisce i valori di σ_1 in funzione di $\frac{\sigma_i}{\sigma_1}$ agli stati limiti fra il campo elastico e quello plastico, cioè per $\sigma_i = \sigma_e$ è un'iperbole (fig. 10 pagina seguente).

Il significato fisico di tale curva può ritenersi la rappresentazione del fatto che tutti gli stati di tensione ai quali compete per il lavoro specifico di cambiamento di forma per scorrimento il valore che esso raggiunge al limite d'elasticità in trazione semplice, sono da ritenersi degli stati limiti oltre i quali il materiale passa nel campo plastico.

Evidentemente per il diagramma della fig. 3 il campo è completo quando π varia da 0 a 2.

Infatti $\frac{\sigma_i}{\sigma_1} = 2$ si verifica, ad esempio, per $\sigma_1 = \sigma_2 = -\sigma_3$ cioè quando sono applicate tre tensioni uguali in valore assoluto delle quali due positive (trazione) e una negativa (compressione).

Invece a $\frac{\sigma_i}{\sigma_1} = 0$ corrisponde il caso di tre tensioni uguali positive $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ (trazione) cioè quello tipico al quale, secondo molti Autori moderni, corrisponde la rottura fragile o per decoesione (décohésion dei francesi e degli americani, Trennbruch dei tedeschi).

Il diagramma di Schnadt della fig. 10, che ha come assi coordinati σ e σ si riferisce agli stati di tensione, la parte avente come assi coordinati $z' z''$ e $z'' x'$ si riferisce alle deformazioni corrispondenti agli stati di tensione.

La curva $E_0 A_0 I_0$ corrisponde agli stati limite per i quali si passa dal campo elastico al campo plastico. Essa è un'iperbole equilatera definita dal punto A_0 limite di elasticità per trazione monoassiale.

Il punto I_0 col quale termina in basso la curva, detto punto aplastico, è l'estremità superiore di una retta verticale $Z_r I_0$ che segna il campo delle rotture fragili (aplastiche, cioè senza passaggio in plasticità) che si produrrebbe per un valore di $\sigma_1 = R_r$.

La curva $F_r Y_r H_r N_r^H$ rappresenta gli stati di sollecitazione emitropici $\sigma_{II} = \frac{1}{2} (\sigma_I + \sigma_{III})$.

La curva $F_r C_{III}^r N_r^{C_{III}}$ rappresenta gli stati di sollecitazione cilindrico-circolari C_{III} in asse su σ_{III} ($\sigma_I = \sigma_{II} > \sigma_{III}$).

La curva $E_r C_I^r N_r^{C_I}$ rappresenta gli stati di sollecitazione cilindrico-circolari C_I in asse σ_I ($\sigma_{II} = \sigma_{III} < \sigma_I$).

Il diagramma delle deformazioni presenta 3 curve corrispondenti alle precedenti: $A_0 H_r''$, A_0^o , C_I , A_0 , C_{III}

Uso del diagramma:

per esaminare il pericolo di rottura fragile. Si calcola il potere plastificante π e in base a π e σ_1 si determina il punto corrispondente del diagramma.

Tale punto deve essere notevolmente lontano dalla linea $Z_r I_0$ alla quale corrisponde il pericolo della rottura fragile, e anche da quella $I_0 N_r^{C_I}$ alla quale corrisponde il pericolo minore, ma sempre grave, di rottura imperfettamente duttile.

Le curve di allungamento consentono la ricerca del valore dell'allungamento unitario plastico δ_1 . Dato ad esempio il punto P_1 situato nel campo plastico si traccia un arco d'iperbole equilatera che incontra in P' l'orizzontale per $\sigma_1 = 1.0$; da questo punto si traccia la verticale che interseca sulla curva degli allungamenti

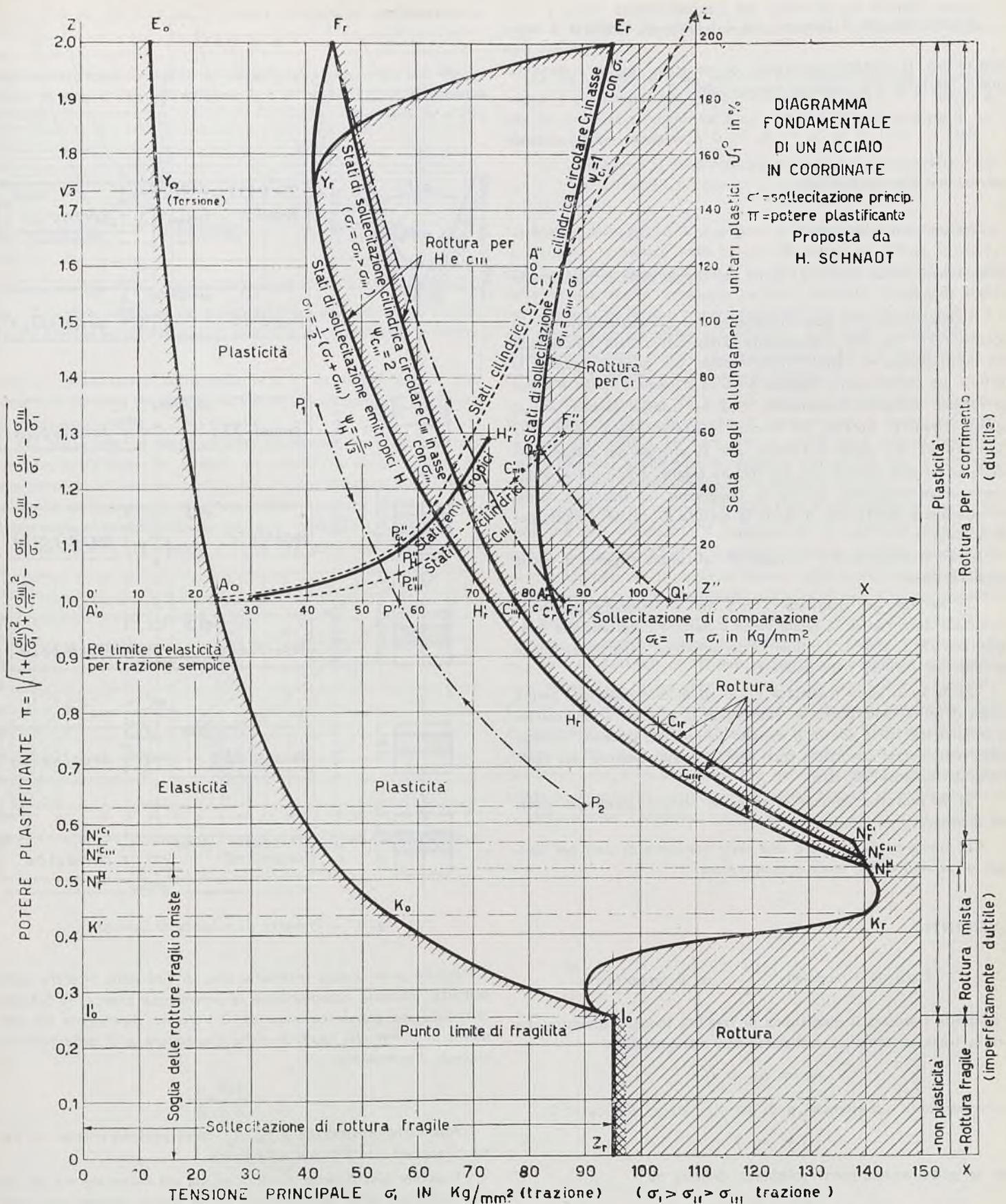


Fig. 10 - Diagramma di Schnadt

corrispondenti al caso considerato il punto che indica l'allungamento plastico considerato. Analogamente si possono ottenere anche gli allungamenti plastici relativi ad un caso di rottura duttile. Ad esempio per il punto F_r mediante l'iperbole equilatera F_r si arriva al punto F_r'' che indica un allungamento del 60%.

Si può ammettere che anche per la curva che dà nel campo plastico gli stati al limite di rottura di Ros sia utilizzabile un'iperbole. Un punto sicuro, per entrambe le curve, è quello che fornisce il carico al limite di elasticità e al limite di rottura per la trazione monoassiale.

Si noti che per il caso $\frac{\sigma_1}{\sigma_1} = 2$ i limiti di elasticità e resi-

stenza per la tensione principale σ_1 vengono ridotti a metà di quelli afferenti alla trazione monoassiale

Per $\frac{\sigma_1}{\sigma_1} = 1$ si ha $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ e valgono i valori abituali σ_i

per la tensione monoassiale.

Per un certo tratto fra $\frac{\sigma_1}{\sigma_1} = 0$ e $\frac{\sigma_1}{\sigma_1} = 0,3 \div 0,7$ la rottura avviene senza plasticità, siamo nel campo della rottura fragile vera e propria.

Il diagramma, che può rappresentare il comportamento di un acciaio A37, ma che è puramente dimostrativo data l'incertezza sui punti $R_{p \max}$, R_f ed R_f indicherebbe, per quanto riguarda la rottura, un primo tratto foggiato ad arco d'iperbole lungo il quale la rottura avviene normalmente, cioè nel campo elastico e può quindi ritenersi duttile, un secondo tratto di forma ignota, fra $R_{p \max}$ e R_f nel quale la rottura, pur avvenendo nel campo plastico, si avvicina sempre più alla rottura fragile, e può quindi chiamarsi imperfettamente duttile, e finalmente un tratto di forma ad estensione ignota, per il quale la rottura è brutale, fragile, per decoesione.

Le caratteristiche e i vantaggi di tali prove rispetto a quelle classiche sono:

1) nel foro del diametro $D = 5$ mm si introduce una spina di acciaio duro contro la quale viene a battere il coltello del pendolo, con ciò si elimina l'influenza perturbatrice della penetrazione del filo del coltello nella provetta;

2) la spina dura trasmette l'urto su di una superficie ampia e ben definita della provetta, eliminando le concentrazioni dovute al coltello che batte contro il metallo da provare, ponendo tutte le prove nelle stesse condizioni sperimentali il che consente una maggiore concordanza dei dati,

3) le provette Schnadt si rompono sempre anche per valori del diametro $d =$ infinito.

Ciò consente di ottenere una serie completa di dati per ogni tipo di acciaio e per diverse temperature.

I VENANTI

Detti n_2 il rapporto $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ n_3 il rapporto $\frac{\sigma_3}{\sigma_1}$

è possibile tracciare il diagramma di fragilità tenendo presente che per la trazione semplice (sollecitazione monoassiale) è

$$n_2 = n_3 = 0$$

(corrispondente, ad esempio, a $\sigma_1 = 1$; $\sigma_2 = 0$; $\sigma_3 = 0$).

$$\pi = 1$$

per la sollecitazione piana (biassiale) definita da

$$n_2 = 0,5 \quad ; \quad n_3 = 0$$

(corrispondente, ad esempio, a $\sigma_1 = 1$; $\sigma_2 = 0,5$; $\sigma_3 = 0$).

$$\pi = 0,866$$

per la sollecitazione spaziale (triassiale) definita da

$$n_2 = 0,75 \quad ; \quad n_3 = 0,5$$

(corrispondente, ad esempio, a $\sigma_1 = 1$; $\sigma_2 = 0,75$; $\sigma_3 = 0,5$)

$$\pi = 0,433$$

Ai due ultimi punti del diagramma (che lo Schnadt ritiene fondamentali) corrispondono le due provette che egli chiama di dinacità e di coerecità.

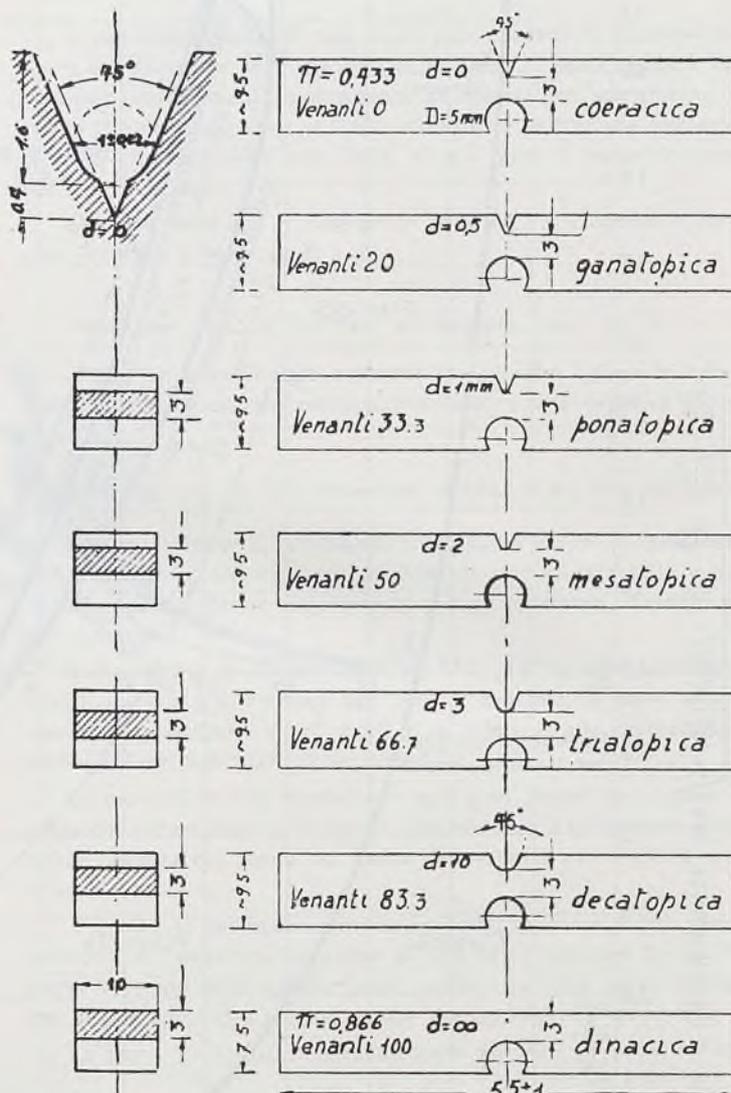


Fig. 11 - Provette di fragilità di Schnadt

Poichè è in questo intervallo che, ai fini delle ricerche sulla fragilità, interessa approfondirne la conoscenza pratica, lo Schnadt introduce una grandezza empirica, il Venante, dipendente dal diametro d in mm del raccordo della scanalatura a V della provetta secondo l'espressione:

$$V = \frac{100 d}{d + 2}$$

Alle varie provette della fig. 11 corrispondono i valori in Venanti segnati lateralmente ad ognuna.

Il potere plastificante π non dipende dal materiale ma dal valore reciproco delle sollecitazioni in un punto determinato, così, ad esempio, i tecnici delle costruzioni metalliche ritengono che alle strutture chiodate spettino, a causa delle sollecitazioni trasversali di compressione indotte dai chiodi che serrano i lembi chiodati, sistemi di sollecitazioni equivalenti ad un potere plastificante poco inferiore a $\pi = 0,866$ cioè a circa 80 Venanti, mentre invece le strutture saldate, a causa delle sollecitazioni secondarie indotte dal ritiro dei cordoni nelle tre direzioni, abbiano spesso si-

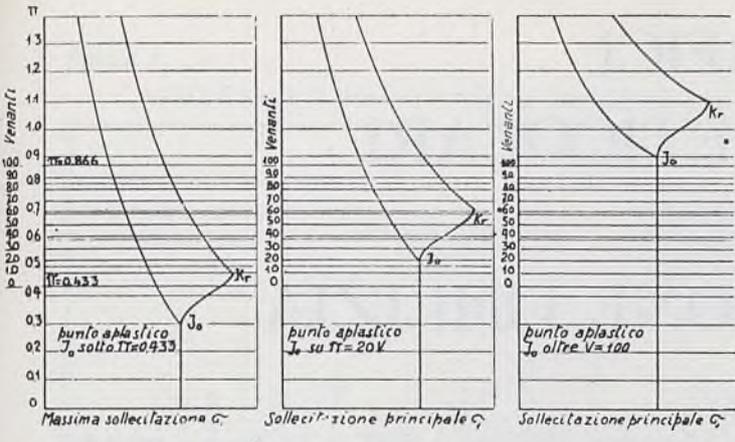


Fig. 12 - Varie posizioni del punto aplastico per vari tipi di acciaio e varie condizioni di trattamenti termici e di temperatura ambiente

stemi di sollecitazioni corrispondenti a $\pi = 0,433$ pari a zero Venanti, e soltanto in qualche caso si arrivi al valore più favorevole (di poco) equivalente a 20 Venanti.

Ne segue che, a parità di altre condizioni, per una struttura chiodata, potrà essere accettabile un acciaio che abbia il punto K_r sulla parallela all'asse orizzontale che ha per ordinata 80 V, mentre per la corrispondente struttura saldata converrà che K_r si trovi in corrispondenza dell'ordinata pari a $\pi = 0,433$.

Naturalmente ciò quando si teme che gli sforzi interni, som-

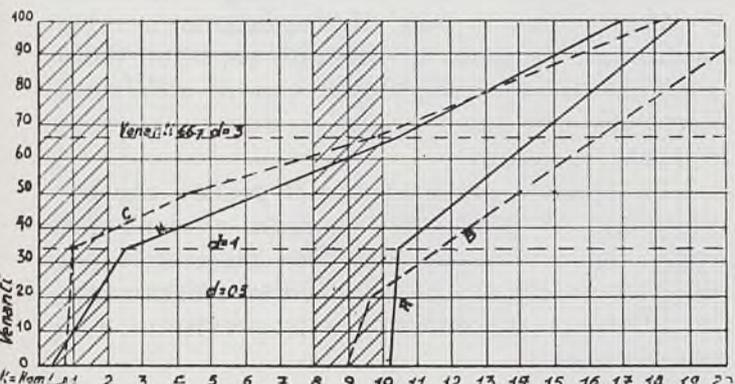


Fig. 13 - Esempio di diagrammi per il controllo del comportamento di vari tipi di acciai.

mati a quelli esterni possano dar luogo ad un sistema doppio o triplo di trazione sommamente pericoloso per la possibilità di rottura fragile.

La fig. 13 fornisce un esempio dei diagrammi che si possono costruire per controllare il comportamento di vari tipi di acciai ad una determinata temperatura e ad una determinata velocità di applicazione del carico.

Nel diagramma si sono limitate le ricerche alle provette relative a 0 Venanti a 33,3 Venanti, a 50 Venanti, a 66,7 Venanti e a 100 Venanti.

Mentre le ordinate si riferiscono al potere plastificante espresso in Venanti, le ascisse sono basate sul lavoro di rottura in kgm/cm^2 . La striscia compresa fra $K = 0$ e $K = 2 \text{ kgm/cm}^2$ è quella della rottura fragile indiscussa. La zona compresa fra 2 e 8 kgm/cm^2 è quella di rottura imperfettamente plastica che richiede esame molto accurato delle sollecitazioni principali e secondarie, e tanto più accurata quanto più scendendo verso i 2 kgm/cm^2 ci si avvicina alla rottura perfettamente fragile.

La zona compresa fra 8 e 10 kgm/cm^2 è una zona di transizione che una lieve differenza di temperatura in meno può alterare, la zona oltre i 10 kgm/cm^2 è quella della rottura perfettamente plastica, quella cioè di massima tranquillità per le strutture saldate e per i laminati soggetti a tensioni interne.

E' evidente che mentre l'acciaio tipo A che presenta per 0 Venanti già una rottura con K maggiore di 10 kgm/cm^2 , si appalesa ottimo per le applicazioni suddette, l'acciaio H, che corrisponde al tipo adottato per il ponte di Hasselt (che crollò per rottura fragile) avendo già a 20 centigradi una rottura con K poco superiore a 0 per 0 Venanti, portato a temperatura di -20° e soggetto a tensione triassiale a causa di cordoni di saldatura troppo grossi, depositi con elettrodi di 10 mm, e senza un programma di saldatura appropriato, possa aver sofferto di un rapido invecchiamento. Questo si è indotti a pensare quando si desidera trovare la causa di un crollo avvenuto a ponte scarico, in un mattino particolarmente rigido, dopo qualche mese dalle prove di collaudo superate brillantemente, e in una forma che ricorda la rottura del vetro, essendo le superfici di rottura nette, senza traccia di allungamenti e di deformazioni plastiche.

I GRAFICI LINEARI E RETICOLARI NELLA PROGRAMMAZIONE EDILIZIA

Nella programmazione edilizia si distinguono principalmente le seguenti fasi:

- il preventivo;
- il contratto;
- l'esecuzione;
- il consuntivo.

L'esperienza insegna che i risultati migliori si ottengono con la programmazione elastica il che sottintende la necessità di seguire passo passo l'esecuzione, confrontando i preventivi di tempo e di costo con l'esecuzione man mano che essa avanza, per poter correggere e, possibilmente, migliorare il programma e l'esecuzione facendo fronte alle situazioni impreviste (climatiche, politiche, economiche) e cioè alluvioni, aumento costi, scioperi, ecc.

Essendo impossibile seguire a memoria le molteplici variabili che intervengono in un grande lavoro, conviene riassumerne i dati in forma semplice e chiara il che per lo più si fa con grafici di tipo lineare o reticolare.

Il grafico lineare tipico è il diagramma di Gantt, il grafico reticolare tipico è il grafo, quasi sempre realizzato col sistema del pert.

Va notato che è sempre possibile, anche se non è sempre conveniente, come si vedrà in seguito, passare dall'una rappresentazione all'altra.

Il diagramma di Gantt.

È il grafico più semplice e chiaro. Conviene sempre, anche se si vuol poi passare al pert, iniziare lo studio con questo diagramma.

Non è poi vero, come alcuni credono, che non si possa col diagramma a rette parallele indicare la maggior parte delle operazioni che si possono illustrare col pert, si tratta soltanto di approfondire tutti i dati che sono necessari per il pert, iniziando il lavoro con la formazione di una tabella dettagliata di tutte le operazioni da compiere e di tutti gli avvenimenti che influiscono sull'andamento del lavoro, come quella che si usa per la costruzione dei diagrammi reticolari (*Tabella II*).

Si vedrà anzi, in alcuni esempi che seguono, come anche per definire le varie zone del pert

convenga disporre i nodi e le frecce su reticoli temporali per rendere più facile e chiara la ricerca del sistema ottimo, cioè, adottando una brutta parola, per ottimizzare l'operosità del personale e delle macchine.

La fig. 1 si riferisce ad un diagramma di Gantt utilizzato per realizzare il programma di un cantiere, si tratta di uno studio preventivo nel quale si cercano le sovrapposizioni possibili per le varie operazioni, e si fissano i tempi singoli e totali disponibili per ogni operazione, onde rispettare i termini di consegna stabiliti.

Però, come il pert, il diagramma a rette orizzontali consente il controllo continuo dello svolgimento del programma con le correzioni necessarie per tener conto di quanto avviene durante il lavoro.

La fig. 2 è precisamente il grafico che sovrappone al preventivo quanto avviene nel corso del lavoro ed alla fine costituisce un diagramma consuntivo che indica chiaramente le differenze riscontrate fra le previsioni e le realizzazioni.

Taluni indicano come un inconveniente del Gantt la difficoltà di correggere il disegno, ma il grafico si usa ormai soltanto per i modesti lavori, negli altri casi, senza ricorrere ai tipi meccanizzati (perfino elettronici) in vendita, si ricorre alle tabelle metalliche magnetiche o a quelle perforate che si trovano, ormai, presso tutti i buoni cartolai.

In genere per seguire l'andamento del lavoro si usa uno specchio settimanale destinato alla direzione delle costruzioni del tipo di quello della *Tabella I*.

Program Evaluation and Review Technique (Pert) (1).

Nel 1958 in USA cominciò a prendere forma un nuovo sistema più raffinato del precedente

(1) AIR FORCE SYSTEMS COMMAND, *Pert/time system description manual = Pert/cost system description manual*, Washington, maggio-giugno 1963.

ARMY MATERIEL COMMAND REGULATION, *Planning and control technique for project management*, Washington DC, agosto 1963.

MILLER R. W., *Schedule cost and profit control with pert*, Mc Graw Hill, New York, 1963.

Tabella I

SPECCHIO SETTIMANALE DELLE PRESENZE DEL RENDIMENTO E DEL COSTO DELLA MANO D'OPERA

| SETTIMANA N. DAL AL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----------|-----------|------------------------------|----------|-----------|--------------------|----------------------------|-----------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------|---------------|-------------|---------------------------|-----------|------------------|-----------|--------------------|
| NUMERO TOTALE DELLE ORE DI LAVORO | | | NUMERO DELLE ORE PERDUTE PER | | | | COEFFIC. DELLE ORE PERDUTE | | PRODUTTIVITÀ DELLA MANO D'OPERA | | | | SALARI PAGATI | | COSTO DELL'UNITÀ PRODOTTA | | | | |
| LAVORO | TEORICHE | EFFETTIVE | CATTIVO TEMPO | MALATTIA | INFORTUNI | MANCANZA MATERIALE | GUASTO MACCHINE | IN TOTALE | PER LA CAUSA PIÙ DANNOSA | UNITÀ DI PRODOTTO ESEGUITE | PRODUTTIVITÀ MEDIA PER UOMO/ORA | | | AD ECONOMIA | COTTIMI E PREMI | IN TOTALE | SECONDO LA NORMA | EFFETTIVA | % IN PIÙ O IN MENO |
| | | | | | | | | | | | SECONDO LA NORMA | EFFETTIVA | VARIAZ. | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | SULLA NORMA | SULLA MEDIA PRECEDENTE | | | | | | | |
| Scavo terra m³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Scavo roccia m³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Getto m³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

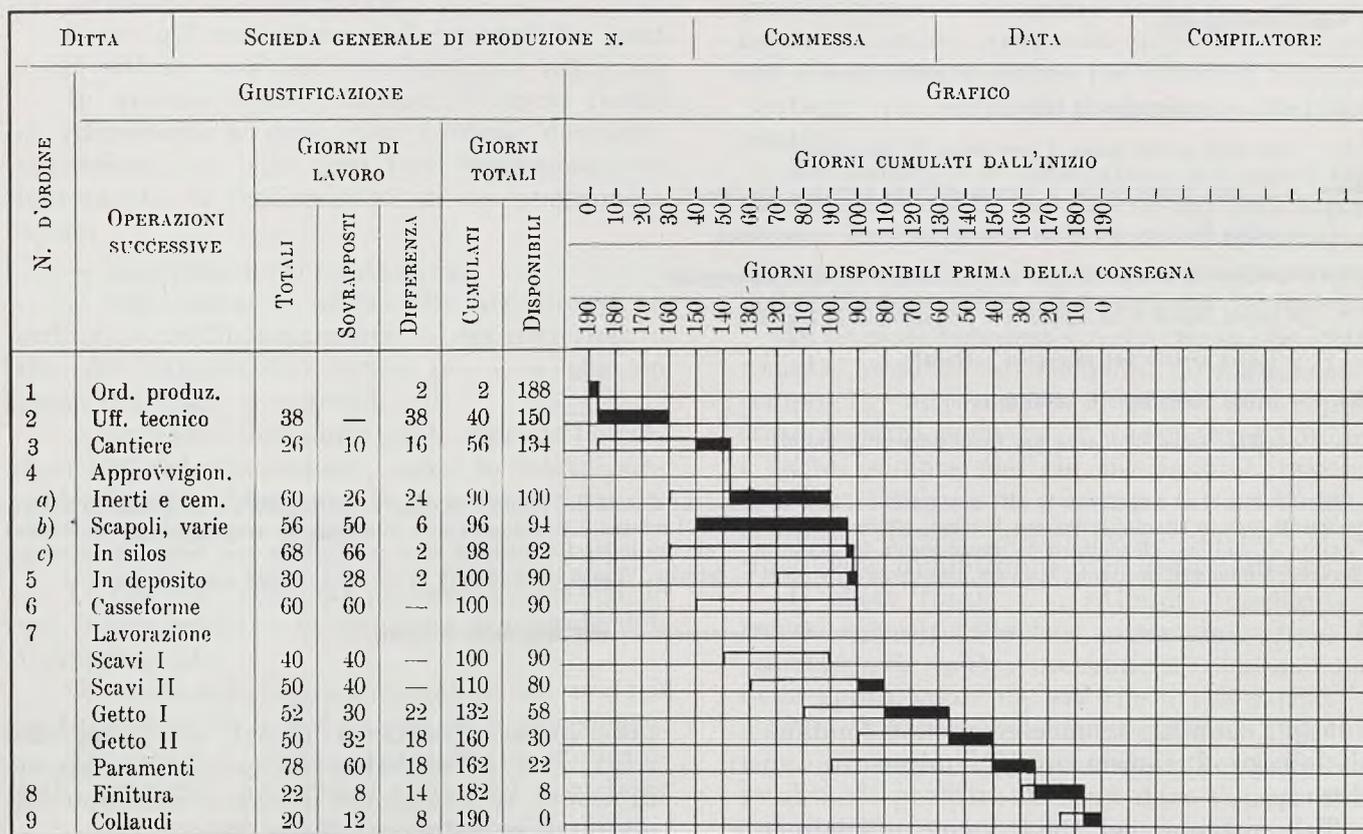
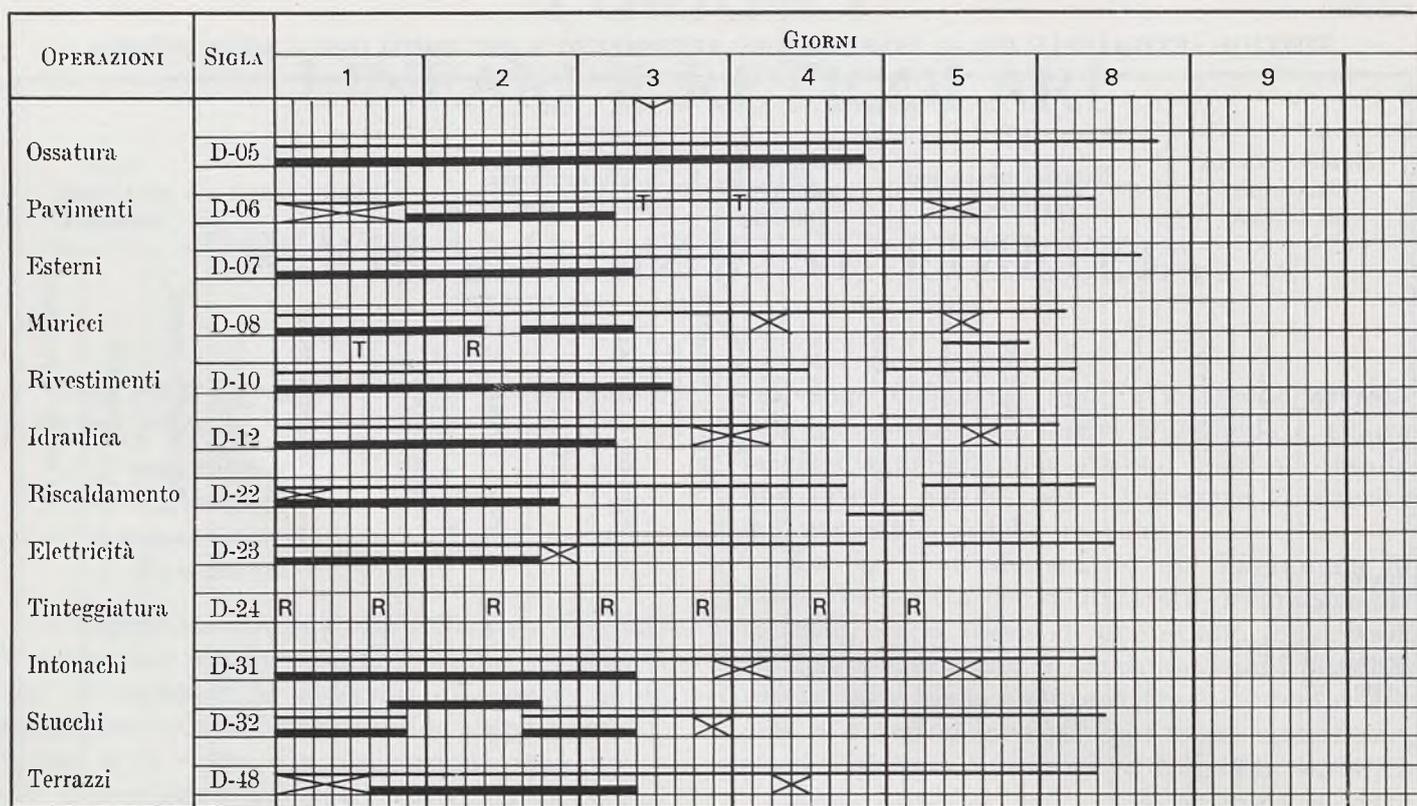


Fig. 1 - Programma generale su diagramma di Gantt.

per la programmazione e il controllo della produzione, che diede subito origine a due metodi molto simili: il CPM (Critical Path Method) e il PERT (Program Evaluation and Review Technique) entrambi soprattutto destinati a

meglio coordinare i progetti e le realizzazioni dei missili interplanetari.

Dalle relative elaborazioni uscì successivamente il pert come oggi si utilizza, conglobando in un solo sistema di programmazione e con-



Segni convenzionali:

- = inizio di un gruppo di lavori (un piano, una pila, ecc.);
- = fine di un gruppo di lavori;
- = la linea sottile indica il preventivo di lavorazione;
- = la linea grossa indica la durata effettiva cumulata del lavoro;
- ∨ = indica il giorno nel quale saranno aggiornati i programmi;
- 3722/45 = indica un determinato lavoro e il numero di unità da eseguire;
- R = indica che vi è un arresto per impossibilità di lavorare;
- T = indica arresto per mancanza materiale;
- TR = indica trasferimento ad altro lavoro;
- X = indica tempo di riserva per completamenti e finiture.

Con riferimento al diagramma le cui linee grosse indicano la situazione a metà del giorno 3 si osservi che l'ossatura è in avanzo di 11 ore, i pavimenti sono in ritardo di due ore, le pareti esterne di un'ora, come i muricci, i rivestimenti sono in avanzo di un'ora, gli impianti idraulici in ritardo di due ore, gli impianti di riscaldamento in ritardo di 5 ore, gli impianti elettrici di 6, le tinteggiature sono ferme per mancanza di lavoro, gli intonachi in ritardo di un'ora, come pure gli stucchi e i terrazzi. Vi sono larghe riserve (croci) per eventuali maggiori ritardi.

Fig. 2 - Quadro generale dell'avanzamento lavori (diagramma di Gantt).

trollo gli elementi tecnico-economici fondamentali della produzione e cioè: il rendimento, i costi e i tempi.

Tale sistema, nel 1962, venne ufficialmente adottato dal Dipartimento USA della difesa per la programmazione dei progetti e delle costruzioni relative (armamento, marina, missili, ecc.) (2).

Per raggiungere tale scopo fu prescritto l'uso del pert, cioè, in ultima analisi, di un sistema metodicamente applicato e sempre aggiornato per ottenere un continuo ed effettivo

programma ottimizzato dei cicli, dei tempi e dei costi, atto a consentire un continuo controllo di essi e, se necessario, anche il continuo miglioramento della esecuzione (3).

(2) Mi si perdoni un piccolo peccato di superbia: già nel 1957 in un mio studio sugli impianti di produzione riportato nel n. 1 di *Produttività* di quell'anno, io avevo usato un grafo simile al pert e avevo fatto notare la possibilità di una utilizzazione molto più ampia della attuale, per la teoria delle reti.

(3) La prima applicazione del pert si ebbe nel 1959 a cura della Marina USA per l'elaborazione del missile Polaris.

Per raggiungere tale scopo si utilizzano:

1) dei diagrammi tratti dalla teoria dei grafi (4) e basati sulla struttura esecutiva del lavoro con la migliore successione delle operazioni, tenendo conto delle loro interdipendenze e sovrapposizioni, delle varie attività che collegano gli eventi (ordini e operazioni) e di tutti i dettagli assunti, a seconda dei casi, al necessario livello di minuziosità;

2) le previsioni sui tempi di esecuzione, separando quelli critici dagli altri;

3) l'analisi delle attività, degli eventi, dei relativi tempi e costi critici, e delle loro interdipendenze, seguita passo passo, durante l'esecuzione, da chi ne assume responsabilità per controllarne il regolare svolgimento, e la proiezione dei risultati accertati per il futuro, onde determinare, se necessario, le correzioni atte a garantire il compimento del programma e dei suoi obiettivi nel tempo fissato e ai costi stabiliti.

In tal modo il pert si propone di ottenere dalla direzione esecutiva un più alto livello di controllo professionale, affinando i metodi per la previsione e l'esecuzione.

Come già accennato i diagrammi del pert e dei sistemi analoghi non sono che dei grafi.

In questa rappresentazione i cerchi (nodi) si riferiscono a delle fasi (ordini, decisioni, operazioni, ecc.) ed ogni fase rappresenta un incremento di realizzazione di un programma come:

- un'operazione produttiva;
- una sosta in attesa che arrivino o un ordine, o un finanziamento, o dei materiali, o che del calcestruzzo faccia presa, o che un getto d'acciaio si raffreddi, ecc.;
- una decisione dalla quale dipende l'avanzamento del programma, come le intese concrete fra due Stati per la concessione di costruire un traforo alpino.

Le fasi sono collegate da linee dette archi, le cui frecce indicano la direzione temporale dell'avanzamento.

Gli archi e le frecce indicano in tal modo il collegamento fra le fasi e i vincoli di precedenza.

Tracciato il grafo, seguendo un determinato percorso, si segnano vicino ad ogni fase:

— un primo tempo, ad esempio in giorni, che riguarda l'esecuzione della fase stessa e del successivo collegamento e che si indica fra parentesi tonde;

— i tempi cumulati del percorso segnati presso ogni nodo con parentesi quadre;

— i tempi massimi per ogni fase segnati di seguito ai precedenti con parentesi a graffa o inclinate.

In tutti i grafi si hanno, di solito, dei circuiti in parallelo parziali o no, ne segue che si possono percorrere diverse vie per passare dal nodo iniziale, per il quale evidentemente il tempo delle tre parentesi sarà eguale, al nodo finale per il quale è valido il tempo cumulato più elevato.

Seguendo i vari circuiti ci si accorge che esistono due tipi di fasi: quelle per le quali, se si vuol mantenere il tempo totale prefissato, non sono ammessi ritardi, e si chiamano operazioni critiche, e quelle per le quali è disponibile un tempo maggiore di quello prefissato.

I tempi massimi della fine di ogni fase si controllano tornando indietro lungo i vari circuiti, partendo dal tempo cumulato fra le parentesi a graffa della fase finale.

I nodi critici, per i quali non sono ammessi ritardi, risultano chiaramente dal fatto che i tempi fra le parentesi quadre e quelle a graffa sono eguali. Unendoli fra loro si ottiene il percorso critico che si segna con un tratto più grosso (fig. 3).

Ma alle varie operazioni che figurano nel grafo si possono assegnare anche dei costi confrontando anche operazioni eseguite con modalità e macchinari diversi per ottenere eventuali vantaggi nei tempi di produzione o nei costi relativi.

Abitualmente si considerano soltanto i costi interni, cioè quelli che dipendono dalle operazioni e fasi eseguite all'interno del cantiere o, più ampiamente, dell'azienda, senza tener conto delle influenze esterne, ad esempio del mercato.

In linea di massima è noto che se una determinata produzione richiede normalmente il tempo T_n , ad esempio di giorni 200 come è stato assunto nella fig. 4, per ridurre il tempo a metà, sempre che ciò sia possibile, si avrà quasi certamente un aumento dei costi diretti C_1 però spesso, contemporaneamente, si verifica una diminuzione dei costi indiretti C_2 .

Il costo totale C'_1 , ottenuto mediante la curva che si costruisce sommando $C_1 + C_2$, ammette, di solito, un minimo che, nel caso della figura, cadrebbe attorno a 155 giorni.

Ma il tempo così determinato non tiene conto, di solito, degli avvenimenti esterni, come perdita di profitti, che può dare l'opera finita,

(4) Un grafo è costituito da un assieme x ($a, b, c, \dots n$) che può rappresentarsi nel disegno con punti e cerchi (nodi) collegati fra loro da un secondo sistema U di coppie (a, b) (c, d) con ax, bx , rappresentato da tanti collegamenti a freccia (archi) delle coppie (a, b), (b, c) ... $[(n-1), n]$.

Il grafo G definito da X e da U si rappresenta con $G(X, U)$. Schemi di questo genere hanno usi molteplici, ad esempio come sociogrammi in psicologia, come semplici in topologia, come circuiti elettrici, come reti di trasporto, come problemi di strategia, come alberi genealogici, ecc.

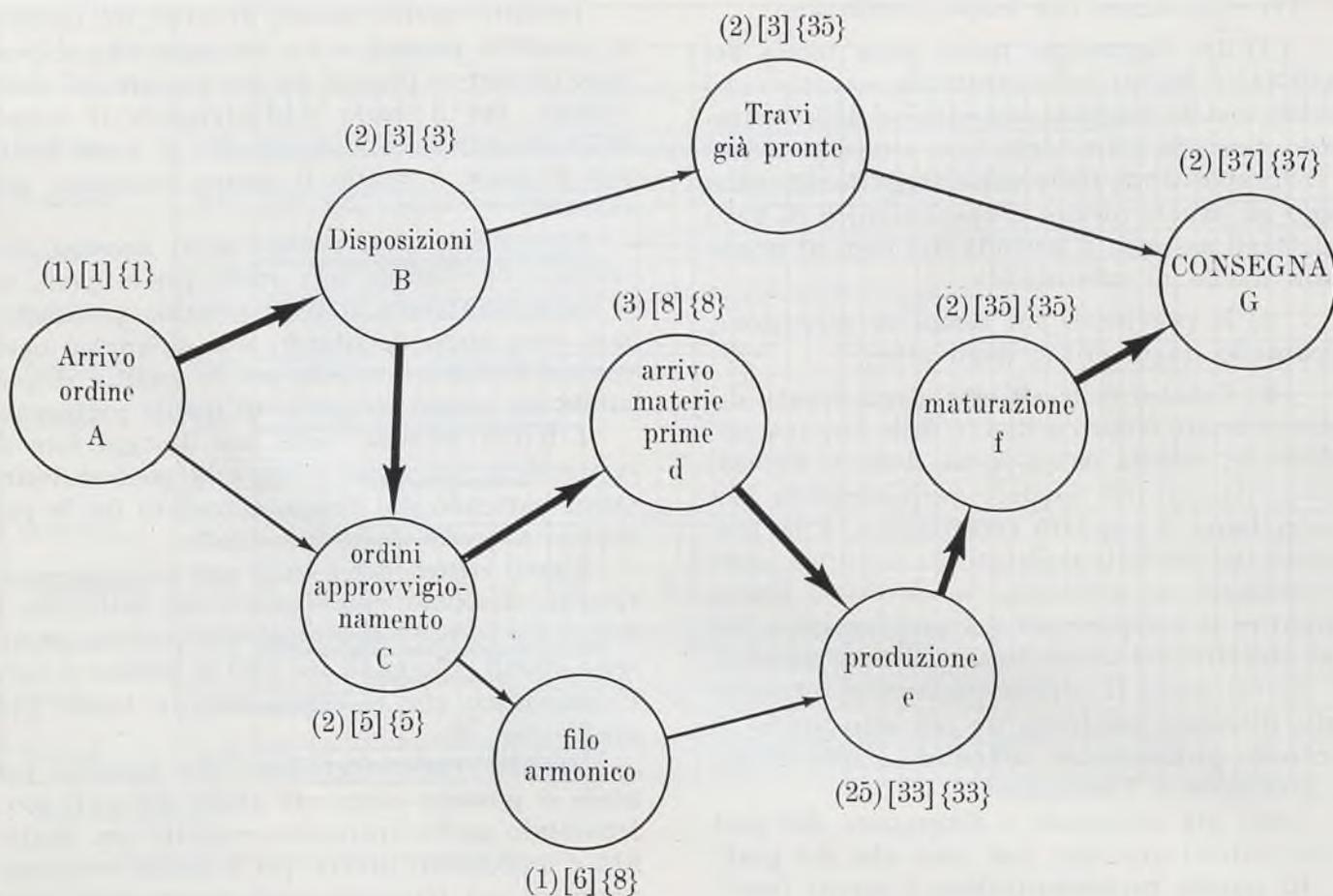


Fig. 3 - Esempio di un grafo per un pert.

dei possibili, anzi probabili aumenti dei salari, dell'impossibilità di assumere un nuovo lavoro, di avvenimenti capaci di deprimere il mercato e quindi il valore dell'opera finita, ecc.

Se tutto ciò può integrarsi rappresentandolo con la curva a tratti del disegno che rappresenta un ulteriore aumento di costo, sommando i costi esterni ed interni si ottiene una nuova curva dei costi totali C_2 che ammette un secondo minimo $C_{a \min}$, diverso dal precedente e che nella figura sarebbe di 128 giorni.

Questa analisi più affinata di quelle abituali porta spesso a decisioni diverse da quelle che, a prima vista, potrebbero sembrare migliori (5).

Nell'industria edilizia un peso predominante ha spesso il tempo inutilmente perduto per la mancanza di una programmazione accurata e anche a causa di progetti incompleti e spesso errati.

Avviene frequentemente che per una grande opera si dia l'incarico a degli architetti che si preoccupano principalmente dello schema generale, poi per la costruzione della struttura in acciaio o in cemento armato si passa a delle ditte specializzate in carpenteria metallica o in prefabbricati. Quando la struttura è montata

ci si accorge che non si era pensato agli infissi o alle pareti. I fori disponibili non corrispondono a costruzioni unificate o disponibili in magazzino, non sono stati previsti né i nodi, né i fori per i relativi attacchi. È allora necessario ricorrere a specialisti che richiederanno un certo tempo per fissare le modalità degli attacchi e per preparare quanto necessita.

Spesso i fori e i nodi si fanno sulla struttura in opera, talora è necessario variare alcune parti, ciò porta via molto tempo e costa molto denaro. Intanto corrono gli interessi sui lavori già compiuti, sul valore del terreno, aumentano le spese generali di cantiere e di sede e così avviene spesso che il costo dell'opera raddoppi (come è avvenuto anche recentemente) soltanto per interessi passivi, spese generali e minor costo, sul mercato, del bene prodotto.

Altrettanto può avvenire nei grandi lavori per opere pubbliche quando manca uno stretto coordinamento fra gli specialisti che progettano e costruiscono alcune parti del cantiere. In una grande galleria è avvenuto che la ditta specia-

(5) J. CHRISTOPHE - V. EVRARD - M. MALAIZÉ, *Le pert et la construction*, Dunod, Parigi, 1969.

lista della ventilazione ha costruito l'impianto sostenendo i grandi tubi in lamiera con mensole murate che non lasciavano passare il fasciame delle casseforme mobili per il getto del rivestimento. Fu necessario, quando il carrello delle casseforme avanzava, smontare la tuba-

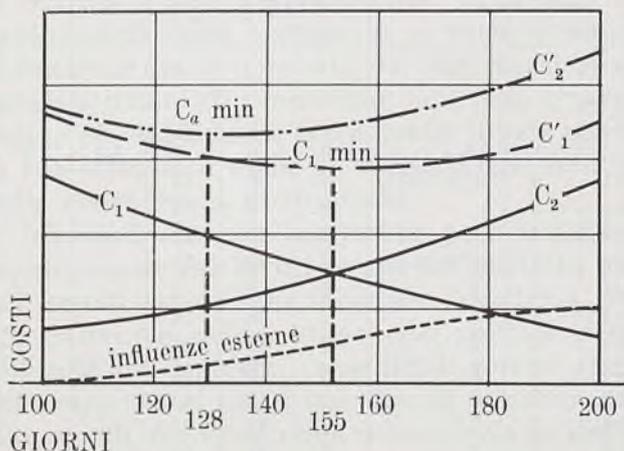


Fig. 4 - Influenza dei costi esterni.

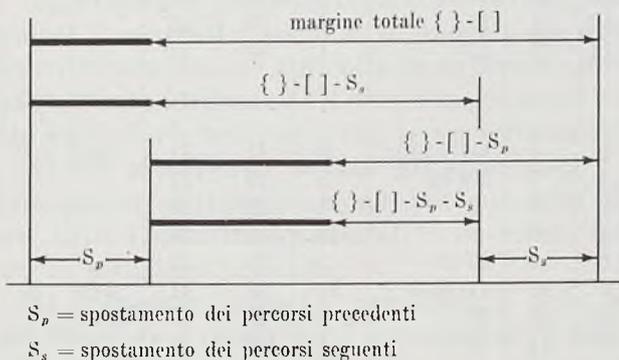


Fig. 5 - Spostamento dei margini delle operazioni non critiche.

zione ventilante, arrestando l'immissione dell'aria in cantiere. Un coordinamento fra il costruttore dell'impianto di ventilazione e di quello delle casseforme avrebbe facilmente evitato l'inconveniente. Altra volta è il ritardo degli ordini o dei successivi finanziamenti che allunga i tempi di lavoro e provoca grandi aumenti di costo per le spese di affitto del macchinario spesso inutilizzato e per le rovine che le vicissitudini climatiche apportano alle opere incomplete; è quanto si riscontrò per la biblioteca universitaria di Torino iniziata quando era ministro dell'educazione nazionale il De Vecchi e ancora incompleta oggi (1971) e per la nuova stazione ferroviaria di Savona, già vecchia e degradata prima di essere usata.

Altre volte è il cantiere che manca dei materiali necessari. Ad esempio nel caso delle lunghe gallerie in roccia generalmente buona

avviene spesso che si incontri qualche faglia ove la roccia è spappolata e umida. Se immediatamente si chiude il foro con fascine e si sostiene la volta con centine l'avanzamento può continuare, se per mancanza del materiale necessario si attende qualche giorno, la frana si pronuncia e si estende bloccando il lavoro anche per qualche mese.

Questi esempi dimostrano la necessità di fare dei progetti molto particolareggiati di tutte le opere accessorie e finiture e di tenere in cantiere sempre pronto il materiale per interventi d'urgenza in caso di imprevisti facilmente prevedibili, come frane, slavine, valanghe, venute d'acqua anche calda in galleria, gas nocivi (grisou), nubifragi, mareggiate, ecc.

Vantaggi del pert.

Ai vari livelli di esecuzione il pert fornisce un'esatta visione complessiva e, dettagliata quanto si vuole, del programma esecutivo capace di proporre il massimo rendimento economico del lavoro nel tempo minimo di esecuzione.

Col pert i circuiti d'informazione sono più chiari, è più facile coordinare l'azione degli eventuali subappaltatori, permette di assicurare le connessioni tecniche e temporali, il controllo degli approvvigionamenti fondamentali in entità e termini di consegna, rende possibile una migliore e più oculata gestione dell'opera.

Al livello dell'« Engineering » e cioè progetto e preventivo, permette un'analisi approfondita del complesso del lavoro e un risparmio di tempo nelle decisioni da prendere, obbliga ad analisi accurate capaci di svelare spesso difficoltà non ben valutate che, rendendosi palesi tempestivamente, permettono di ovviarvi alle migliori condizioni.

Il maggior vantaggio però si ha, di solito, nello svolgimento del programma perché in genere i tempi sono evidenti e vengono meglio rispettati, le responsabilità ben definite incitano ad una maggiore accuratezza nell'espletamento dei compiti di ogni addetto. La conoscenza del percorso critico permette di agire sulle operazioni fondamentali per ridurre i tempi e indica, durante gli avanzamenti, le scadenze che debbono essere assolutamente rispettate; nel caso di incidenti di una certa gravità e durata indica immediatamente i ritardi prevedibili e le operazioni sulle quali è necessario agire per ridurre l'entità.

Il pert fornisce inoltre ai subappaltatori e ai capi reparto le istruzioni necessarie perché essi possano prepararsi in tempo ad iniziare il loro intervento, avvertendoli dei pericoli cui andrebbero incontro se superassero i tempi fis-

| OPERE | GRUPPO DI LAVORI | SIMBOLO | PUÒ PARTIRE DA | OPERAZIONE PRECEDENTE | PUÒ FINIRE IN | OPERAZIONI SUCCESSIVE | TEMPO IN GIORNI LAVORATIVI | | | PERCORSO CRITICO | |
|--|---------------------|---------|----------------|-----------------------|---------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|------------------|--------|
| | | | | | | | PER L'OPERAZIONE | CUMULATI DA L'INIZIO | PUÒ FINIRE IN GIORNI | SIMBOLO | GIORNI |
| <i>Inizio ordinarvio</i> | | | | | | | | | | | |
| | Opere murarie | A | | | | | | | | | |
| Progetto generale | A-1 | A-1 | A | — | 1 | 2-3-4 | 6 | 6 | 6 | A-1 | 6 |
| Livellamento terreno | | 1-4 | 1 | A-1 | 4 | 5-7-8-10-11 | 2 | 8 | 13 | | |
| Distinta cantiere | | 1-2 | 1 | A-1 | 2 | 4 | 2 | 8 | 3 | | |
| Impianto cantiere | | 2-4 | 2 | 1-2 | 4 | 5-7-8-10-11 | 2 | 10 | 11 | | |
| Scavo vespaio | | 3-4 | 2 | 1-3 | 4 | 5-7-8-10-11 | 2 | 10 | 11 | | |
| Formazione vespaio | | 1-3 | 1 | A-1 | 2 | 4 | 2 | 8 | 9 | | |
| Scavo fondazione ritti | | 4-5 | 4 | 1-4 | 5 | 6 | 2 | 13 | 14 | | |
| Getto fondazione ritti | | 5-6 | 5 | 4-5 | 6 | 7 | 2 | 15 | 17 | | |
| Maturazione getti precedenti | | 6-7 | 6 | 5-6 | 7 | 8 | 3 | 18 | 21 | | |
| Scavo fondazione muro | | 4-5 | 4 | 3-4 | 6 | 6 | 2 | 12 | 14 | | |
| Getto fondazione muro | | 5-6 | 5 | 4-5 | 7 | 7 | 2 | 14 | 21 | | |
| Maturazione getto precedente | | 6-7 | 6 | 5-6 | 9 | 9 | 3 | 17 | 29 | | |
| Costruzione muro pareti | | 9-12 | 9 | 6-7 | 12 | 13 | 20 | 37 | 52 | | |
| Pavimento | | 12-13 | 12 | 9-12 | 13 | 14 | 8 | 45 | 62 | | |
| Intonaco | | 4-9 | 4 | 1-4 | 9 | 10-12 | 3 | 14 | 29 | | |
| Consegna materiale coperta | | 9-10 | 9 | 4-9 | 12 | 11-12 | | | | | |
| Montaggio coperto | | 12-13 | 12 | 11-12 | 13 | 14 | 8 | 60 | 62 | | |
| Opere lattoniere | | 13-14 | 13 | 12-13 | 14 | 15 | 4 | 64 | 72 | | |
| <i>Struttura</i> | | | | | | | | | | | |
| | Carpenteria acciaio | | | | | | | | | | |
| Progetto struttura | | 1-4 | 1 | A-1 | 4 | 5-7-8-10-11 | 5 | 11 | 11 | 1-4 | 5 |
| Costruzioni ritti | | 4-7 | 4 | 1-4 | 7 | 8-9-13 | 8 | 19 | 21 | | |
| Montaggio ritti | | 7-8 | 7 | 4-7 | 8 | 9 | 4 | 23 | 26 | | |
| Costruzione banchine | | 4-8 | 4 | 1-4 | 8 | 9 | 10 | 21 | 26 | | |
| Montaggio banchine | | 8-9 | 8 | 4-8 | 9 | 10-12 | 2 | 23 | 29 | | |
| Costruzione capriate | | 4-10 | 4 | 1-4 | 10 | 11-12-13 | 30 | 41 | 41 | 4-10 | 30 |
| Montaggio capriate | | 10-11 | 10 | 4-10 | 11 | 12 | 6 | 47 | 47 | 10-11 | 6 |
| Costruzione correntini | | 4-11 | 4 | 1-4 | 11 | 12 | 7 | 18 | 47 | | |
| Montaggio correntini | | 11-12 | 11 | 10-11 | 12 | 13 | 5 | 52 | 52 | 11-12 | 5 |
| Seconda mano vernice | | 11-12 | 11 | 10-11 | 13 | 13 | 4 | 52 | 62 | | |
| Preparazione infissi | | 4-10 | 4 | 1-4 | 12 | 13 | 20 | 31 | 52 | | |
| Montaggio infissi | | 12-13 | 12 | 11-12 | 13 | 14 | 10 | 62 | 62 | 12-13 | 10 |
| <i>Vetri-illuminazione-riscaldamento</i> | | | | | | | | | | | |
| | Finiture vetri | | | | | | | | | | |
| Preparazione vetri | | 4-10 | 4 | 1-4 | 13 | 14 | 18 | 29 | 62 | | |
| Montaggio vetri | | 13-14 | 13 | 12-13 | 14 | 15 | 10 | 72 | 72 | 13-14 | 10 |
| Schema illuminazione | illuminaz. | 4-7 | 4 | 1-4 | 12 | 13 | 2 | 13 | 21 | | |
| Consegna materiale illuminazione | » | 7-13 | 7 | 4-7 | 13 | 16 | 2 | 15 | 62 | | |
| Montaggio illuminazione | » | 13-14 | 13 | 12-13 | 14 | 15 | 2 | 64 | 72 | | |
| Schema riscaldamento | Riscaldam. | 4-7 | 4 | 1-4 | 12 | 13 | 2 | 13 | 21 | | |
| Consegna aerotermi | » | 7-13 | 7 | 4-7 | 13 | 14 | 8 | 21 | 62 | | |
| Montaggio aerotermi | » | 13-14 | 13 | 12-13 | 14 | 15 | 2 | 64 | 72 | | |
| Sgombero-pulizia | Sgombero | 14-15 | 14 | 13-14 | 15 | 16 | 2 | 74 | 74 | 14-15 | 2 |
| Consegna | fine | 15-B | 15 | 14-15 | B | — | 1 | | | 15-B | 1 |
| <i>Totale giorni lavorativi</i> | | | | | | | | | | | 75 |

sati, permette inoltre un'analisi sistematica dei legami logici fra le varie fasi, mettendo in luce le difficoltà tecnologiche dei vari metodi esecutivi, chiarisce i legami tra esecuzione, costi ed esborsi.

Nelle forme più complesse permette di considerare con discreta approssimazione l'influenza

degli eventi esterni al lavoro e delle grandezze aleatorie, nonché di tentare una ricerca di ottimizzazione.

Difficoltà del pert.

Nella fase di studio l'applicazione del pert che è molto conveniente, si verifica raramente

per l'impreparazione degli addetti; nella *fase di approvvigionamento* sono rari i fornitori preparati a seguire, sulla scorta di un pert, le consegne frazionate a scadenze precise; nella *fase di montaggio* i responsabili delle varie operazioni concatenate temono che il pert metta in luce troppo crudamente, in caso di incidenti e ritardi, le loro responsabilità; nella *fase di avanzamento* della costruzione se tutte le interdipendenze fra le operosità dei vari mezzi meccanici e umani di produzione non sono chiaramente ed esattamente considerate, il pert perde la sua efficacia e toglie ai dirigenti ogni fiducia nella convenienza di utilizzarlo.

Concludendo non sempre il pert è conveniente, specie nei lavori semplici e modesti, ma nei grandi lavori esso favorisce l'esattezza dei preventivi, la chiara visione dei rischi e delle difficoltà da superare, consente di correre tempestivamente ai ripari nel caso di avvenimenti sfavorevoli, favorendo una consapevole audacia.

Condizioni necessarie per trarre il massimo vantaggio dall'uso del pert.

1) Preparare immediatamente il pert appena firmato il contratto, anche se il progetto non è del tutto definito; alcune difficoltà da superare appaiono soltanto utilizzando il pert, conoscendole subito è più facile tenerne conto tempestivamente;

2) far intervenire subito gli specialisti e i responsabili dell'applicazione per ottenere da loro tutti i dati indispensabili e discutere con loro le soluzioni proposte;

3) preparare, appena possibile, i pert di fabbricazione e quelli per i subappaltatori onde evitare ritardi;

4) appena definiti i materiali e le attrezzature necessarie rivedere il pert per accordarlo con gli elementi messi in luce;

5) all'apertura del cantiere deve già essere pronto il pert dettagliato dei montaggi da compiere, indipendentemente dai lavori eventualmente già iniziati e che non sono legati agli impianti da montare.

Modalità operative.

Effettuato lo studio accurato del lavoro sul progetto disponibile, si forma una lista delle operazioni che vanno suddivise tanto più minutamente quanto maggiore è la precisione desiderata. Si cercherà di scegliere operazioni ridotte al livello più semplice, aventi però dei tempi di esecuzione comparabili.

In un primo tempo si possono elencare tali operazioni con i relativi tempi di esecuzione in un certo ordine di precedenza, ma senza eccessiva precisione, sforzandosi invece di non dimenticarne nessuna.

Successivamente, avendo eseguito una seconda analisi del progetto e del lavoro, si segneranno, a lato delle varie operazioni, i numeri progressivi di esecuzione per facilitare la formazione di una distinta ordinata rigorosamente in base alle precedenze, il che si ottiene rapidamente adottando una forma analoga a quella della *Tabella II*. In essa conviene elencare di seguito i vari gruppi di lavoro concatenati.

Esempio.

Si debba costruire il pert di una modesta costruzione, da eseguirsi in economia, di un capannone a shed (fig. 6) su fondazioni in calcestruzzo, con struttura in acciaio, infissi metallici, muri in mattoni pieni, intonaci interno ed esterno normali, pavimento in calcestruzzo bocciardato su vespaio di 50 cm sporgente 20 cm, luce m 10, n. 10 intercolumni di 5 m, altezza sotto catena di 5 m. Riscaldamento mediante 5 aerotermini, illuminazione mediante 10 centri luminosi applicati alle catene.

Nella *Tabella II* risulta evidente il percorso critico che è quello cui corrispondono eguali tempi di operazione sia partendo dal primo nodo e calcolando i tempi cumulati, sia partendo dall'ultimo e calcolando i tempi che decorrono dall'ultimazione.

Il pert della fig. 7 fornisce gli stessi elementi.

È utile spesso, per una visione più chiara delle successioni dei tempi, ridisegnare il pert su un foglio millimetrato assumendo come asse delle ascisse il percorso critico come è stato fatto per l'esempio in corso con la fig. 8.

Si nota subito che il cammino critico è per la massima parte dovuto alla preparazione della carpenteria in officina e che si potrebbe ridurre notevolmente la durata del lavoro montando la struttura metà per volta, montando cioè le incavallature man mano arrivano a gruppi di 5 prima, di 6 dopo, e avanzando in tal modo anche per le altre opere.

Ciò richiederebbe, probabilmente, il ritocco di alcuni tempi delle operazioni non critiche, che, del resto, sono facilmente riducibili.

Per le grandi costruzioni murarie il pert di ogni piano viene disegnato su reticolo modulare e in esso si inseriscono le operazioni modulo per modulo e piano per piano in modo di poter eseguire il lavoro pezzo per pezzo cercando di sovrapporre, per quanto è possibile, i lavori successivi.

Margine dei tempi operativi.

Va notato (fig. 8) che per le operazioni esterne al percorso critico il tempo disponibile in più è { } — [] che può utilizzarsi, a seconda dei casi, o lasciando il margine alla fine dell'operazione, o al principio, o portando la fase

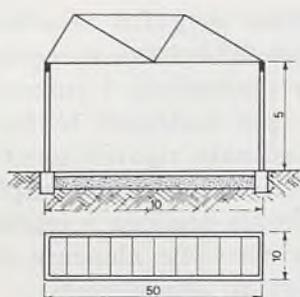


Fig. 6 - Schema di capannone in struttura metallica.

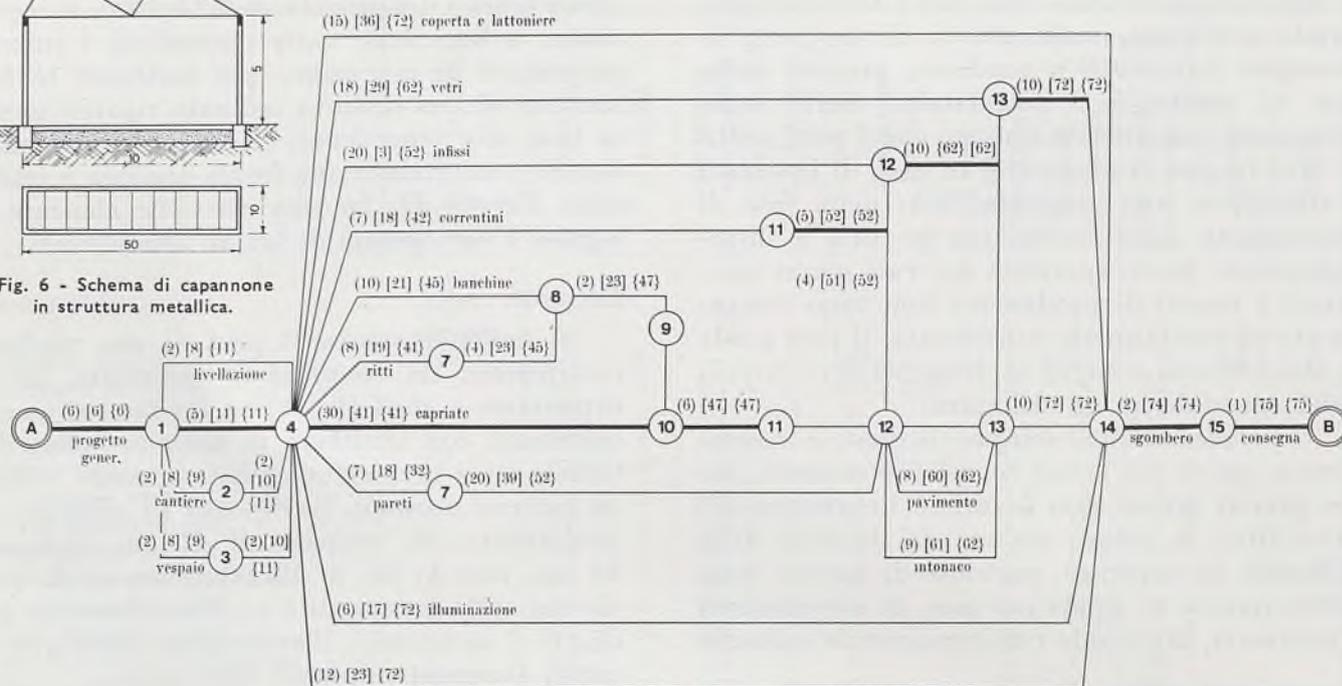


Fig. 7 - Pert generale riassuntivo per la costruzione del capannone della fig. 6.

operativa all'interno del segmento $() + \{ \} -$ — $[]$ con margine ai due estremi.

Se però è possibile spostare i tempi delle operazioni precedenti e seguenti, i margini variano come mostra la fig. 5 e, se si restringono i tempi, del percorso critico, può avvenire che il margine si annulli e l'operazione inizialmente dotata di margine diventi critica funzionando in parallelo con quella già critica, o, se diventa più lunga, sostituendola.

I sistemi reticolari.

Diconsi reticolari i sistemi derivati dai grafi. Per la programmazione ne sono stati messi a punto e proposti parecchi tipi (PERT - CPS - PVC - RAMPS - NMT - CPM - ecc.) tutti però derivati, con leggere varianti, dal pert che è il più usato e quindi consigliabile.

Vari tipi di pert.

Si usano, in genere:

— *il pert preventivo*, eseguito dal Consulting Engineer per definire, in linea di massima, l'opera e i tempi relativi, quello eseguito poi dall'impresa a corredo della sua offerta;

— *il pert di progetto*, che per i grandi lavori si ritiene necessario eseguire per la preparazione del progetto onde tener conto dei tempi necessari per appurare, anche mediante sopralluoghi e richieste d'offerta, quanto è indispensabile per definire il progetto. Talvolta, parallelamente

alle operazioni anzidette, si tien conto anche dei tempi prevedibili per le scadenze di quegli avvenimenti dai quali dipende la possibilità di passare alla vera e propria esecuzione e cioè accordi fra gli stati, fra le imprese, concessioni di enti pubblici, leggi, finanziamenti, ecc. Si veda, come esempio, nella fig. 14 il pert del traforo autostradale del Frejus;

— *il pert esecutivo* dell'opera con l'avanzamento dei lavori in sede di progetto;

— *il pert di controllo* dell'avanzamento continuamente paragonato a quello precedente;

— *il pert economico*, preventivo e consuntivo, o pert dei costi.

Le fasi successive del pert si debbono accordare con quelle della programmazione; si hanno perciò, per i programmi di ogni genere, pert di previsione, pert di esecuzione e pert di gestione con rettifica.

Esecuzione del diagramma.

Come già accennato, il programma che sarà fissato dal pert deve, di solito, consentire di:

1) fissare le date d'inizio e di completamento del lavoro;

2) stabilire i tempi dettagliati d'avanzamento;

3) ricercare la migliore utilizzazione possibile degli impianti, del macchinario, e del personale (saturazione generale dell'operosità delle macchine e degli addetti e saturazione particolare di ogni gruppo ben definito);

4) assicurare la continuità operativa, evitando eccessive variazioni dell'intensità lavorativa lungo tutto il periodo del lavoro per evitare licenziamenti e assunzioni temporanee;

5) fissare la politica delle assunzioni;

6) fissare la politica degli investimenti per macchinari e impianti;

7) conoscere i costi, gli esborsi, e gli impegni finanziari lungo il lavoro. I risultati del pert possono essere riassunti in una tavola generale (fig. 9).

I metodi utilizzabili per ottenere tutto questo sono:

Caso I.

Il programma intende mantenere invariati i tempi singoli e i mezzi d'opera:

a) metodo manuale o semiautomatico. Lo si vedrà nell'esempio dato in seguito per ottenere la saturazione di un macchinario;

b) metodo automatico, consigliabile per i lavori importanti che richiedono un pert molto complesso. Si ricorre agli appositi programmi degli ordinatori adatti (calcolatori elettronici). Se non si possiede l'ordinatore si ricorre ad un servizio adatto.

Caso II.

Il programma ammette la variazione dei tempi (per ridurre la durata) e la variazione dei mezzi d'opera:

a) metodo semiautomatico o manuale. Lo si vedrà nella ricerca del numero di mezzi più conveniente per la saturazione della operosità di un macchinario;

b) metodo automatico per mezzo di un ordinatore.

Appartengono, di solito, alla seconda categoria i pert che studiano i costi onde renderli minimi.

Saturazione dell'operosità.

Nello svolgimento dei lavori si distinguono:

1) *operazioni unitarie*, cioè da eseguire in piccola quantità per le quali si esclude a priori l'esecuzione contemporanea di due o più, e si considerano perciò indivisibili;

2) *operazioni divisibili*, cioè in quantità e di entità sufficiente per rendere conveniente di eseguirne una o più, in parallelo.

Nell'esempio relativo al montaggio di un piccolo capannone lo scavo per il vespaio o il montaggio degli aerotermini o dei centri luminosi, non ammettono suddivisioni convenienti dato il modestissimo tempo impiegato; sarebbe invece suddivisibile il montaggio della struttura metallica per avanzare col montaggio del tetto, con la costruzione dei muri e il loro intonaco, man mano che avanza il montaggio.

Nelle grandi costruzioni con molte ripetizioni della stessa operazione, lo studio della suddivisione è sempre molto conveniente.

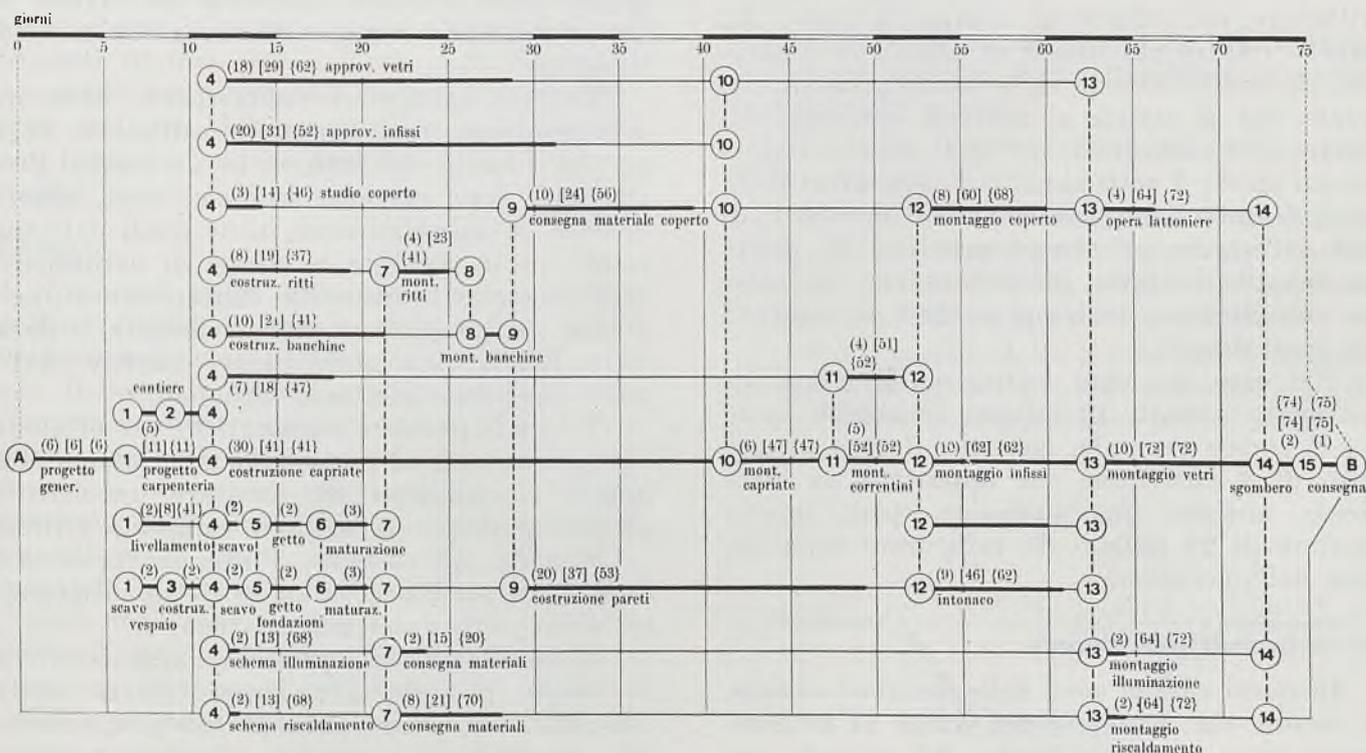


Fig. 8 - Pert su reticolo temporale tratto dal pert della Tabella II per il capannone della fig. 6.

Manualmente lo studio per la saturazione dei tempi di lavoro o d'un impianto, o di una macchina o di una squadra di specialisti si opera elemento per elemento, per lo più con un diagramma di Gantt.

Esempio.

Sia il tratto di un percorso critico di un pert nel quale si usano degli escavatori secondo lo schema della fig. 10.

Il percorso critico è indubbiamente quello 1-2-4-5-6-7 che richiede 17 giorni. Conviene, per la chiarezza di questo semplice studio, disporre il diagramma su ascisse temporali, come nell'esempio della fig. 8. Tale studio è svolto nella *Tabella III*.

La validità dello studio è legata alle condizioni generali del lavoro del quale il percorso critico 1-7 della fig. 10 può essere un tratto del percorso critico generale (nel quale ogni economia di tempo fatta sulle 17 settimane previste per compiere il lavoro può essere preziosa) a un tratto non critico per il quale un'accelerazione dello scavo non porta ad alcun vantaggio. Nello studio sono stati contemplati due casi:

- 1) che l'accelerazione non apporti alcun guadagno;
- 2) che il risparmio di una settimana apporti 10 milioni di vantaggio.

Se non vi sono ragioni economiche tali da spingere al risparmio di tempo, il problema si limita allo studio del numero di escavatori da utilizzare per ridurre al minimo la spesa. La tabella mostra che invece di usare i 10 escavatori che risulterebbero dallo studio generale, nel quale non si scende ai dettagli, conviene utilizzare o 6 escavatori, nel qual caso si risparmiano anche 2 settimane, o 5 escavatori per i quali il costo è lo stesso ma si ha un ritardo di una settimana sul tempo previsto. È questo un esempio del fatto, già notato, che non sempre una riduzione dei tempi produce un aumento dei costi diretti.

Nel caso che ogni settimana di tempo risparmiato apporti 10 milioni di minori spese per il lavoro generale, conviene il caso 2) cioè l'uso di 8 escavatori che apportano in complesso, anziché una maggiore spesa, un risparmio di 22 milioni da raffigurare come un utile dell'operazione.

Avvenimenti decisionali.

In molti casi vi sono delle decisioni esterne al lavoro che pongono dei limiti all'avanzamento oltre un certo limite. Ad esempio per lo sviluppo di una ricerca in un istituto univer-

sitario, dopo la fine di un primo finanziamento, l'attesa per ottenerne un altro.

Per un lavoro che interessa più Stati è necessario attendere l'accordo della concessione da parte di ognuno di essi che talvolta implica la votazione di leggi da parte di parecchi parlamenti. Indipendentemente dallo svolgimento burocratico, le decisioni assunte dai parlamenti possono variare notevolmente tutto il programma tecnico ed economico del lavoro.

Sia, ad esempio, un collegamento internazionale attraverso le Alpi (casi dei trafori del Monte Bianco, del Gran San Bernardo, del Frejus e del Ciriegia, ecc.). Il lavoro in progetto prevederà un grande traforo autostradale con due strade di accesso ai due imbocchi per il collegamento con le reti viarie internazionali.

A seconda delle decisioni che in seguito ai voti dei parlamenti o ai programmi già approvati dai LLPP le Autorità preposte alla programmazione prenderanno nel concedere la concessione, i tronchi di strada di accesso potranno essere delle autostrade a pedaggio o delle superstrade libere, costruite, queste ultime, a cura dei ministeri competenti.

Nei due casi, non solo cambiano le caratteristiche tecniche delle strade e i loro costi, ma anche l'ammontare del capitale necessario per eseguire l'opera.

Se ai concessionari è imposto anche di costruire le strade di accesso, il capitale necessario può anche salire al doppio o al triplo di quello sufficiente per l'apertura del traforo. Si può passare, ad esempio, da 40 a 130 miliardi di spesa.

Siccome esistono indubbiamente delle interdipendenze fra i tempi di costruzione degli accessi e quelli del traforo, in un caso il programma, dopo ottenute le concessioni, approvazioni ed autorizzazioni, nelle quali debbono essere anche stabilite le norme di attuazione, dipende esclusivamente dal concessionario, nell'altro dai programmi della viabilità e dalle disponibilità finanziarie delle aziende dalle quali dipendono le strade nazionali.

Talora le pratiche burocratiche per ottenere l'autorizzazione ad eseguire il lavoro sono così lunghe e complesse da meritare un vero e proprio pert per il relativo cammino critico.

Si veda, ad esempio, l'interessante studio di V. Finzi per il pert di un ACEI in « Ingegneria Ferroviaria » del giugno 1968.

In esso l'iter delle pratiche amministrative necessarie per ottenere l'approvazione della « proposta di spesa » richiede 160 giorni naturali consecutivi a partire dall'autorizzazione superiore a presentare la proposta.

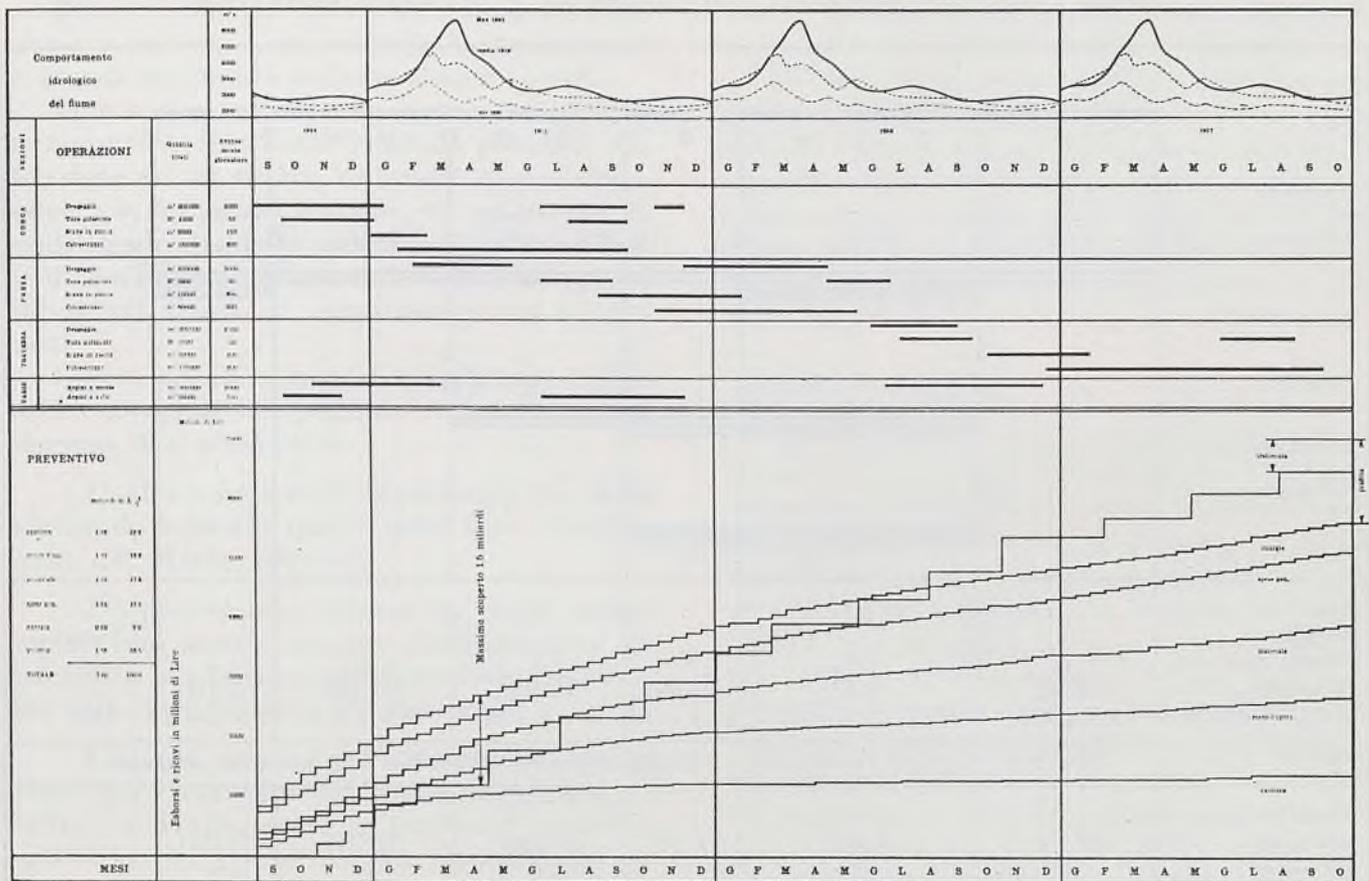


Fig. 9 - Diagramma preventivo dell'avanzamento dei lavori, degli esborsi e ricavi per la costruzione di una diga.

Generalizzazione del pert.

Quando nel pert si considerano anche gli avvenimenti decisionali cioè quelle decisioni che sono esterne al lavoro, oppure dipendenti dai risultati di una prima parte delle operazioni necessarie per mandare avanti il lavoro, l'ulteriore sviluppo del programma e del relativo pert possono andare soggetti a notevoli varianti.

Esempio.

Nel caso della costruzione di una lunga galleria alpina in roccia della quale non si possono conoscere esattamente le caratteristiche, il lavoro potrebbe iniziarsi partendo contemporaneamente dai due imbocchi e da due pozzi intermedi previsti per la ventilazione. Ammesso un certo avanzamento giornaliero partendo dagli imbocchi, lo scavo attraverso i pozzi potrà essere conveniente soltanto se, iniziando lo scavo di essi lo stesso giorno dell'inizio degli scavi ai terminali, si potrà giungere all'asse del traforo in tempo per poter compiere attraverso ogni pozzo un tratto di galleria proporzionato a quello ancora da eseguire, avanzando dal rispettivo imbocco. In altre parole gli incontri per i quattro avvan-

menti dovrebbero avvenire, all'incirca, contemporaneamente.

Ciò implica che:

- 1) l'ubicazione dei pozzi sia tale da consentire gli incontri senza richiedere eccessiva lunghezza del pozzo;
- 2) la roccia attraversata dai pozzi si presti allo scavo dall'alto;
- 3) scavando i pozzi, non si incontrino faglie imbibite d'acqua, nel qual caso l'avanzamento sarebbe lento e penoso, col pericolo di riempire d'acqua le gallerie sottostanti.
- 4) la qualità della roccia nei 4 avanzamenti sia, in media, tale da consentire velocità di avanzamento proporzionali alle distanze.

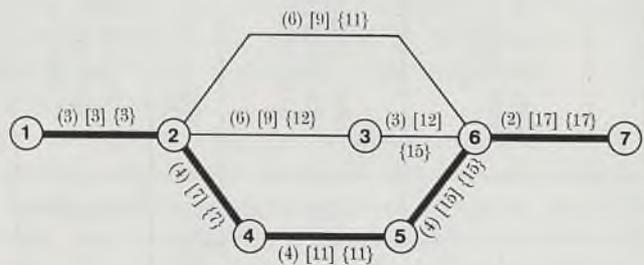


Fig. 10 - Pert di una escavazione.

Tabella III STUDIO DI MIGLIORAMENTO DELLA OPEROSITÀ DI UN GRUPPO DI ESCAVATORI

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|----------------------------|---|-----------|---|---------------------------|-------------|---|---|---------------------------|----------|--------------|----|----|-------------|-----------|--------------|-----------|----------|--------|
| <i>Preventivo</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Settimane . . . | 1 | (3) [3] | | 2 | (4) [7] | | | 4 | (4) [11] | | | 5 | | (4) [15] | | 6 | (2) [17] | 7 |
| Escavatori N. . . | | 2 | | | 4 | | | | | | | | | 2 | | | 4 | |
| Settimane | | | | 2 | | 6 | | | | 3 | | 3 | | 6 | | | | |
| Escavatori N. . . | | | | | | | 3 | | | | | 2 | | | | | | |
| Settimane | | | | 2 | | 6 | | | | 6 | | | | | | | | |
| Escavatori N. . . | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | | |
| <i>Caso I (10 escav.)</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Impegno</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Totale escavatori | | 2 | | | 10 | | | 8 | | 4 | | | | 2 | | 4 | | TOTALI |
| Settimane | | (3) [5] | | | (4) [7] | | | (2) [9] | | (3) [12] | | | | (3) [15] | | (2) [17] | | |
| Sett. × escavatori | | 3 × 2 = 6 | | | 4 × 10 = 40 | | | 2 × 8 = 16 | | 3 × 4 = 12 | | | | 3 × 2 = 6 | | 2 × 4 = 8 | | 88 |
| Impegni | Escavatori N. 10 per 17 settimane = 170 · Saturazione 88/120 × 100 = 52%. Risparmio settimane 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Caso II (8 escav.)</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Settimane | (1) [1] | | | (5) [6] | | | | (12) [8] | | (2) [10] | | | (1) [11] | | (1) [12] | | | |
| Escavatori | 6 | | | 8 | | | | 8 | | 2 | | | 6 | | 8 | | | |
| Sett. × escavatori | 1 × 6 = 6 | | | 5 × 8 = 40 | | | | 2 × 8 = 16 | | 2 × 6 = 12 | | | 1 × 6 = 6 | | 1 × 8 = 8 | | | 88 |
| Impegni | Escavatori N. 8 per 12 settimane = 96 · Saturazione (88/96) 100 = 89%. Risparmio settimane 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Caso III (6 escav.)</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Settimane | (1) [1] | | | (7) [8] | | | | (3) [10] | | (2) [12] | | | (1) [13] | | (2) [15] | | | |
| Escavatori | 6 | | | 6 | | | | 6 | | 6 | | | 6 | | 4 | | | |
| Sett. × escavatori | 1 × 6 = 6 | | | 7 × 6 = 42 (2 riserva) | | | | 3 × 6 = 18 (2 riserva) | | 2 × 6 = 12 | | | 1 × 6 = 6 | | 2 × 4 = 8 | | | 88 |
| Impegni | Escavatori N. 6 per 15 settimane = 90 · Saturazione (88/90) 100 = 98%. Risparmio settimane 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Caso IV (5 escav.)</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Settimane | (1,2) [1,2] | | | (8) [9,2] | | | | (3,2) [12,4] | | (2,4) [14;8] | | | (1,2) [16] | | (1,6) [17,6] | | | 88 |
| Escavatori | 5 | | | 5 | | | | 5 | | 5 | | | 5 | | 5 | | | |
| Sett. × escavatori | 1,2 × 5 = 6 | | | 8 × 5 = 40 | | | | 3,2 × 5 = 16 | | 2,4 × 5 = 12 | | | 1,2 × 5 = 6 | | 1,6 × 5 = 8 | | | 88 |
| Impegni | Escavatori N. 5 per 18 settimane = 90 · Saturazione (88/90) 100 = 98%. Ritardo 1 settimana | | | | | | | | | | | | | | | | | |

TEMPI-COSTI. Ammesso: che una settimana di tempo guadagnato sul lavoro totale valga niente (0) oppure 10 milioni; che ogni escavatore impegnato costi milioni di Lire 0,3 alla settimana se in funzione e 0,2 se in riposo.

VALUTAZIONE DEL COSTO TOTALE D'ESCAVAZIONE NEI QUATTRO CASI IN MILIONI DI LIRE - 1970

| CASI | COSTO DEGLI ESCAVATORI | | | RISPARMIO O PERDITA E COSTO TOTALE DELLA ESCAVAZIONE | | | | | | |
|------|--|---|----------------|--|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| | SETT. IN FUNZIONE PER ESCAVATORI A MILIONI 0,3 | SETT. A RIPOSO PER ESCAVATORI A MILIONI 0,2 | TOTALE MILIONI | SETTIMANE RISPARMIATE O PERDUTE N. | SE VALORE RISPARMIO È NULLO | COSTO TOTALE MILIONI | SE VALORE RISPARMIO È DI MILIONI | TOTALE RISPARMIO O PERDITA | COSTO TOTALE UTILE | |
| | | | | | | | | | COSTO ESCAVATORI - RISPARMIO MILIONI | RISPARMIO-COSTO MILIONI |
| I | 88 × 0,3 = 26,4 | 82 × 0,2 = 16,4 | 42,8 | risparmio 0 | 0 | 42,8 | 10 | 0 | 42,8 | |
| II | 88 × 0,3 = 26,4 | 8 × 0,2 = 1,6 | 28,0 | » 5 | 0 | 28,0 | 10 | 5 × 10 = + 50 | | 50 - 28 = 22 |
| III | 88 × 0,3 = 26,4 | 2 × 0,2 = 0,4 | 26,8 | » 2 | 0 | 26,8 | 10 | 2 × 10 = + 20 | 26,8 - 20 = 6,8 | |
| IV | 88 × 0,3 = 26,4 | 2 × 0,2 = 0,4 | 26,8 | perdita 1 | 0 | 26,8 | 10 | 1 × 10 = - 10 | 26,8 + 10 = 36,8 | |

Tutto ciò richiede una ricerca geofisica complessa e costosa, i cui risultati, comunque, per le grandi profondità restano sempre incerti.

Fino a che non saranno appurate le condizioni anzidette non sarà possibile prendere una decisione né sui sistemi di lavoro, né sull'ubicazione e la forma dei cantieri, né sul sistema di ventilazione e sulla posizione delle relative centrali. Sarà perciò impossibile fare delle ipotesi valide sui tempi di esecuzione e sui relativi costi.

È però possibile, mentre si espletano le pratiche burocratiche preliminari, studiare, ad esempio, tre alternative:

I) abbandono dell'avanzamento dai pozzi adottando soltanto quello dalle due estremità (caso del Monte Bianco);

II) prevedendo ottima la roccia attraversata dai pozzi, studiare l'avanzamento da 4 fronti e la posizione più favorevole, anche ai fini della ventilazione, dei due pozzi;

III) nel caso che l'utilizzazione di un pozzo per l'avanzamento risulti conveniente e l'altro no, avanzamento su tre fronti e relativo equilibrio dei tempi nei tre tronchi per gli incontri simultanei.

In base ai dati delle ricognizioni geologiche, degli strati superficiali, di opportuni sondaggi e ricerche mediante i metodi scismici e mediante gli ultrasuoni, è possibile dare un certo valore di probabilità ad ognuno di questi casi e, con l'uso della funzione entropica, ricavare il valore più probabile delle tre soluzioni.

Avvenimenti aleatori caratteristici delle costruzioni - Generalizzazione del pert.

Operazioni amministrative.

Benché, di solito, le pratiche burocratiche interne ed esterne all'impresa (autorizzazioni statali o parastatali, approvazioni delle autorità centrali e periferiche, decisionali del consiglio di amministrazione, disponibilità di fondi, ecc.) non facciano veramente parte dei lavori, è però necessario tenerne conto se non si vuole affidarsi ciecamente ad un programma che, ritardi indipendenti dalla volontà di ognuno, (caduta di ministeri, scioperi, rivoluzioni, alluvioni, terremoti, crisi finanziarie, ecc.) possono alterare profondamente, specie quando contemporaneamente si presentano difficoltà stagionali.

Ad esempio per i lavori in alta montagna, se l'autorizzazione a cominciare i lavori cade nel tardo autunno è impossibile cominciare il montaggio dei cantieri e l'inizio delle operazioni

fino a che non si giunge alla buona stagione e cada ogni pericolo di slavine e valanghe.

Evidentemente è sempre possibile costruire un pert preventivo dei lavori, restando fermi soltanto sulle fasi tecniche esecutive, ma i giorni cumulati lungo il percorso critico si intendranno sempre a partire dalla definizione di tutte le operazioni burocratiche fondamentali nonché di quelle climatiche (Caso del Frejus in *Tabella VI*).

Approvvigionamenti.

Nei diagrammi molto complessi dei grandi lavori gli approvvigionamenti assumono grande importanza d'altra parte però essi possono complicare ulteriormente dei grafi già molto estesi. Per ovviare a questo inconveniente è opportuno, se necessario, compilare, in base al pert, una tabella che fa parte di esso e che dettaglia per l'ufficio addetto, in funzione dei vari nodi del grafo, il lancio degli approvvigionamenti e i relativi termini di consegna che vanno studiati, non solo per assicurare la continuità lavorativa, ma anche per evitare magazzini troppo ampi e costosi. Si ricorre così a grandi ordinazioni (che riducono i costi) ma con consegne frazionate, inserendo nel contratto una clausola sulla riserva che il fornitore deve tenere costantemente a disposizione e una clausola che permetta, entro certi limiti, un raccorciamento o un rallentamento delle consegne, tempestivamente richiesti, per tener conto del reale avanzamento dei lavori.

Influenza del clima.

L'incertezza che in certi programmi possono apportare le vicissitudini climatiche (neve, gelo in montagna, grandi piogge, piene dei fiumi, valanghe, alluvioni, scoscendimenti, ecc.) ne rendono il completamento aleatorio.

Un sistema molto usato per limitare gli imprevisti di questo genere consiste nella preparazione del programma in base alla media trentennale, o, meglio, cinquantennale dell'avvenimento temuto (diagramma riportato in fig. 9) considerando le eventuali varianti da introdurre man mano ci si avvede, durante i lavori, che il clima tende ad avvicinarsi al peggiore o al migliore caso registrato nel trentennio o nel cinquantennio.

Alcuni, invece, per prudenza, annullano, nell'anno, un intero mese di lavoro, ad esempio quello delle grandi piogge ai tropici; in altri casi, per le dighe in alta montagna, si considerano lavorativi soltanto i tre mesi estivi o poco più.

Va anche tenuto presente che:

1) non tutti i lavori sono ugualmente intralciati dalle evenienze climatiche;

2) che è possibile ridurre fortemente gli imprevisti mediante opportune precauzioni, come l'industrializzazione del lavoro da eseguirsi per la maggior parte in stabilimento (prefabbricazione) limitando le operazioni esterne al semplice montaggio operato mediante gru dotate di cabina chiusa climatizzata.

La previsione dei tempi.

Per le ragioni suddette esiste un certo grado di incertezza in tutte le previsioni dei tempi.

Spesso si ovvia a questo inconveniente tenendo un certo margine che l'esperienza consiglia di caso in caso.

Esistono anche parecchie vie per il calcolo di questo margine, basate sulla teoria delle probabilità.

Uno dei sistemi più semplici considera il tempo più probabile T_p basato sul tempo normale T_n , sul tempo minimo possibile T_{\min} e su quello massimo T_{\max} con la

$$T_p = \frac{T_{\min} + 4 T_n + T_{\max}}{6}.$$

Più complesso è l'uso della *funzione entropica* H che fornisce una misura quantitativa del grado di probabilità di un avvenimento terminale iesimo (tempo totale di una ennesima successione di operazioni) rispetto ad n tempi terminali possibili. La funzione entropica H è definita dalla

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_z p_i$$

ove:

p_i è la probabilità calcolata a priori dell'iesimo avvenimento terminale;

n il numero dei possibili eventi terminali;

$\log_z p_i$ è il logaritmo in base z di p_i .

L'entropia massima di una serie di termini n è $M_{\max} = \log_z n$.

Come misura relativa M_i della incertezza di un sistema (cioè del grado di probabilità dell'interno di un valore terminale determinato rispetto agli altri possibili) si assume

$$M_i = \frac{H}{H_{\max}}.$$

Esempio.

Per $n = 8$ terminali possibili è $H_{\max} = \log_2 8 = 3$.

Per una serie di avvenimenti terminali di probabilità calcolata a priori di 0,2058 - 0,196 - 0,150 - 0,126 - 0,09 - 0,0882 - 0,084 - 0,06 l'entropia è $H = 2,28$ e $M_i = 2,88/3 = 0,96$, grado di probabilità del terminale ritenuto, a priori, più probabile.

Pert costi.

Comprende i vari metodi di programmazione reticolare che associano in qualche modo la ricerca dei costi a quella dei tempi.

Il primo di questi metodi fu il CPM (Critical Path Method) adottato dalla Marina USA con lo scopo di raccogliere in un solo sistema reticolare gli elementi tempi legandoli agli avvenimenti burocratici che influenzano le fasi lavorative e ai costi cercando le interdipendenze fra i tre fattori suddetti. In qualche caso il pert-costi opportunamente semplificato ha lo scopo di ottenere o manualmente per le piccole costruzioni, o su ordinatore per le grandi, delle scadenze tempi-costi limitate a dei problemi soprattutto finanziari.

I tipi più comuni di pert-costi si possono suddividere in:

1) determinazione degli esborsi in funzione dei tempi di avanzamento, considerando le due ipotesi estreme, tempo totale minimo e tempo totale massimo per determinare, nel caso più sfavorevole, le epoche nelle quali sarà necessario essere pronti per i vari esborsi successivi;

2) nel caso precedente, considerare anche le varianti a seconda che le somme da impegnare saranno versate in contanti o con impegni a lungo termine;

3) la possibilità di costruire una serie di avanzamenti per scegliere quello di minimo costo;

4) studiare separatamente vari gruppi di opere per conoscere costi e date di esborso di ogni gruppo di lavoro (subappalti).

In tutti i casi si possono calcolare, se necessario, i rapporti fra i costi, esborsi e incassi, le differenze incassi-esborsi, per far fronte al massimo scoperto, nonché aggiornare, man mano che avanza il lavoro, i dati desiderati, mettendo in luce le immancabili differenze fra preventivi e consuntivi.

Aggiornamento dei costi.

In linea di massima per aggiornare l'elemento costi in base all'andamento del lavoro è necessario considerare la parte consuntiva, già avvenuta e la parte ancora preventiva perché ancora da compiere, cioè il costo totale consuntivo-preventivo C_{cp} che è

$$C_{cp} = C_{sp} + C_p$$

essendo: C_{sp} quanto già speso e C_p il costo preventivo di quanto si dovrà ancora compiere.

Per l'assieme del lavoro, o per ogni categoria di lavoro, si ottiene la differenza fra il costo totale C_t e il costo preventivo C_p cioè $dC = C_t - C_p$.

Poiché i costi elementari cambiano nel tempo, il valore attuale del lavoro compiuto V

È così possibile calcolare lo scarto attualizzato S_c fra il valore del lavoro compiuto V e gli esborsi eseguiti C_{sp} , scarto che si può aggiornare continuamente durante l'avanzamento del lavoro traendone un diagramma del tipo di quello della fig. 11.

L'ottimizzazione - Ricerca del costo minimo.

Il pert-costo oltre allo scopo di seguire, con l'avanzamento del lavoro, l'aumento continuo delle spese e degli esborsi nonché le variazioni del valore V del lavoro compiuto, durante l'esecuzione, consente anche la ricerca del minimo costo delle operazioni successive e dell'intero lavoro.

In genere, per il complesso del lavoro, tutti i trattati che si occupano del pert-costo forniscono la fig. 4 ammettendo che la riduzione dei tempi di esecuzione provochi, da un lato l'aumento dei costi diretti C_1 e dall'altro una diminuzione di quelli indiretti C_2 (spese generali, servizio al capitale, ecc.) per cui è possibile, sommando le due curve ottenere quella dei costi totali C'_1 , che ammette un minimo ben definito per il tipo di avanzamento che si dovrebbe adottare. Ciò equivale ad ammettere che esiste fra i costi diretti e i tempi una relazione del tipo della curva C_1 della fig. 4. (Prima parte, escluso l'intervento dei fattori esterni dei quali, quei trattati, di solito, non tengono conto).

In realtà, chi ha esperienza di lavori sa che non è così, perché la curva C_1 è molto meno semplice. Non è vero che la riduzione dei tempi importi sempre un aumento di C_1 , molto spesso anch'essa, come la C'_1 , ammette un minimo perché, entro certi limiti, la riduzione dei tempi provoca un miglior rendimento dei mezzi e dei lavoratori la cui operosità viene migliorata. Va poi sempre considerato che occorre tener conto delle evenienze esterne, come è stato fatto nella fig. 4.

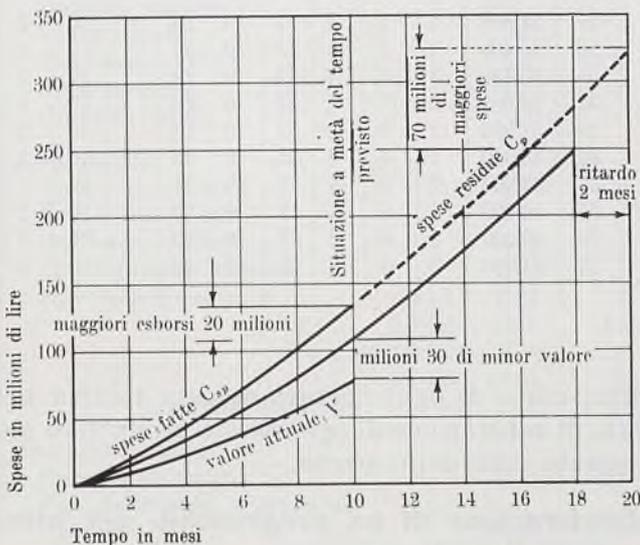


Fig. 11 - Aggiornamento dei costi.

è diverso dal totale degli esborsi fatti C_{sp} per cui, con grossolana approssimazione, si può determinare il valore del lavoro già effettuato mediante la

$$V = C_{sp} \frac{C_{pi}}{C_{cp}}$$

essendo V il valore attuale alle condizioni dell'epoca del preventivo, e C_{pi} la stima preventiva iniziale del lavoro completo.

Al termine del lavoro, evidentemente, $C_{cp} = C_{sp}$ e $V = C_{pi}$.

Tabella IV

OPERAZIONI NECESSARIE PER LA COSTRUZIONE DI UNA GALLERIA

| OPERAZIONI N. | LAVORI | TEMPO IN MESI | | COSTO IN MILIARDI | |
|---------------|---|---------------|------------|-------------------|------------|
| | | NORMALE | ACCELERATO | NORMALE | ACCELERATO |
| 1-2 | Operazione preliminare (progetto, sopralluoghi, sondaggi, ecc.) | 4 | 2 | 1.000 | 3.000 |
| 2-3 | Preparazione cantieri, villaggi, uffici | 6 | 5 | 2.000 | 6.000 |
| 1-3 | Costruzione opere murarie fondamentali | 4 | 2 | 600 | 800 |
| 1-4 | Costruzione di una galleria dalle due estremità o con finestra intermedia | 12 | 9 | 10.000 | 15.000 |
| 3-4 | Costruzione di grandi fabbricati per macchinari | 10 | 8 | 2.000 | 4.000 |
| 3-5 | Ordinazione macchinario | 24 | 19 | 15.000 | 18.000 |
| 2-4 | Costruzione di un pozzo dal basso o dall'alto | 7 | 6 | 3.600 | 6.000 |
| 4-5 | Montaggio macchinari | 10 | 7 | 800 | 5.000 |
| 5-6 | Messa a punto, prove, regolazione, collaudo, consegna | 3 | 2 | 400 | 1.000 |

| OPERAZIONE | PROGRAMMA NORMALE | | PROGRAMMA CELERE | | MAX GUADAGNO MESI | MAGGIORE SPESA | | | CASI | DURATA COSTO | | DURATA DELLE OPERAZIONI IN MESI | | | | | | | | | |
|------------|-------------------|----------------|------------------|----------------|-------------------|-----------------|---------------------|------------------|------|----------------|----------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | DURATA MESI | SPESA MILIARDI | DURATA MESI | SPESA MILIARDI | | TOTALE MILIARDI | DIFFERENZA MILIARDI | AL MESE MILIARDI | | PROGRAMMA MESI | MILIARDI | 1-2 | 2-3 | 1-3 | 1-4 | 3-4 | 3-5 | 2-4 | 4-5 | 5-6 | |
| 1-2 | 4 | 1.000 | 2 | 2.500 | 2 | 2.500 | 1.500 | 750 | I | 37 | 34.800 | 4 | 6 | 4 | 12 | 10 | 24 | 7 | 10 | 3 | |
| 2-3 | 6 | 2.000 | 5 | 3.500 | 1 | 3.500 | 1.500 | 1.500 | II | 36 | 35.400 | 4 | 6 | 4 | 12 | 10 | 24 | 7 | 10 | 2 | |
| 1-3 | 4 | 600 | 2 | 4.600 | 2 | 4.600 | 4.000 | 2.000 | III | 35 | 36.150 | 3 | 6 | 4 | 12 | 10 | 24 | 7 | 10 | 2 | |
| 1-4 | 12 | 10.000 | 9 | 16.000 | 3 | 16.000 | 6.000 | 2.000 | IV | 34 | 36.900 | 2 | 6 | 4 | 12 | 10 | 24 | 7 | 10 | 2 | |
| 3-4 | 10 | 2.000 | 8 | 4.600 | 2 | 4.600 | 2.600 | 1.300 | V | 33 | 37.900 | 2 | 6 | 4 | 12 | 10 | 23 | 7 | 10 | 2 | |
| 3-5 | 24 | 15.000 | 19 | 20.000 | 5 | 20.000 | 5.000 | 1.000 | VI | 32 | 38.900 | 2 | 6 | 4 | 12 | 10 | 22 | 7 | 10 | 2 | |
| 2-4 | 7 | 3.000 | 6 | 6.000 | 1 | 6.000 | 3.000 | 3.000 | VII | 31 | 39.900 | 2 | 6 | 4 | 12 | 10 | 21 | 7 | 10 | 2 | |
| 4-5 | 10 | 800 | 7 | 6.000 | 2 | 6.000 | 5.200 | 2.600 | VIII | 30 | 40.900 | 2 | 6 | 4 | 12 | 10 | 20 | 7 | 10 | 2 | |
| 5-6 | 3 | 400 | 2 | 1.000 | 1 | 1.000 | 600 | 600 | IX | 29 | 43.200 | 2 | 6 | 4 | 12 | 9 | 19 | 7 | 10 | 2 | |
| X | | | | | | | | | | 28 | 44.700 | 2 | 5 | 4 | 12 | 9 | 19 | 7 | 10 | 2 | |
| Tot. | | 34.800 | | 64.200 | | 64.200 | 29.400 | | | | | | | | | | | | | | |

Per questo il problema del valore ottimo del tempo totale o di quello parziale di un gruppo di lavori richiede una ricerca iterativa. In teoria, per questo studio, si possono utilizzare alcuni algoritmi basati sull'ipotesi che sia possibile rappresentare per ogni operazione le interdipendenze tempo-costo mediante espressioni lineari.

In pratica, poiché è difficile trovare delle espressioni matematiche sufficientemente semplici che tengano conto delle funzioni in gioco, quasi sempre di tipo discontinuo, (variazione tempi, variazioni mano d'opera, variazione dei mezzi d'opera e dei costi singoli) è più semplice e sicuro utilizzare il sistema delle approssimazioni successive.

Un esempio di quanto è possibile, limitatamente alla variazione dei mezzi d'opera, è stato dato con la *Tabella III* sul miglioramento dell'operosità. Per quanto riguarda la ricerca del mi-

nimo costo di ogni operazione essa rientra nel caso di saturazione di ogni mezzo produttivo già trattato precedentemente.

Accelerazione di un programma per ottenere il costo minimo.

Convieni osservare subito, come del resto è già stato scritto, che per diminuire il tempo totale di esecuzione di un programma o di un gruppo di lavori di esso, è necessario agire sui tempi critici, almeno inizialmente.

Esempio.

Supponiamo che si tratti di un lavoro che implica le seguenti operazioni principali (*Tabella IV*) da compiere nell'ordine esposto e che ammettono la possibilità di una produzione accelerata con una spesa, però, notevolmente maggiore. (Le cifre sono esagerate per rendere più chiaro il procedimento).

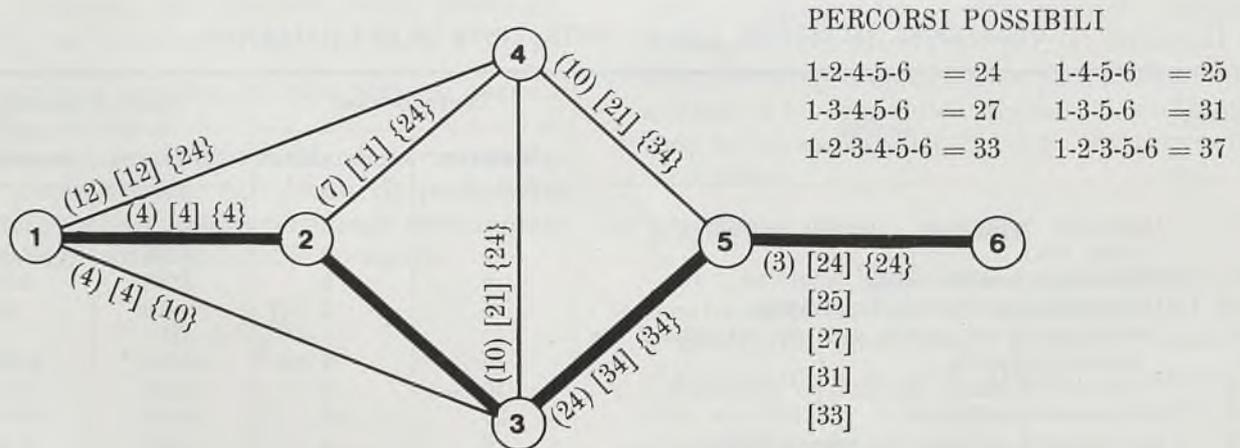


Fig. 12.

Tabella VI PERT RIASSUNTIVO DI GRANDE MASSIMA PER LA COSTRUZIONE DELLA GALLERIA DEL FREJUS
(Previsioni dell'A.)

| OPERAZIONI | PROGR. KM | SIMBOLO | ITALIA TEMPO MESI | | PERCOR- SO CRITICO MESI | PROGR. KM | SIMBOLO | FRANCIA TEMPO MESI | | PERCOR- SO CRITICO MESI |
|---|--------------|---------|----------------------|------------------|----------------------------------|--------------|---------|-----------------------|------------------|----------------------------------|
| | | | NECES- SARIO | DISPO- NIBILE | | | | NECES- SARIO | DISPO- NIBILE | |
| <i>Iniziali comuni</i> | | | | Y + Y | X + Y | | | | X + Y | X + Y |
| Decisioni politiche | | | | | X + Y | | | | | X + Y |
| Lancio appalti | | 3 | | | | | 3 | | | |
| Preparazione-offerte | | 3-4 | 6 | 6 | 6 | | 3-4 | 6 | 6 | 6 |
| Scelte-contratti | | 4-5 | 4 | 4 | 4 | | 4-5 | 4 | 4 | 4 |
| Consegna lavori | | 5 | | | | | 5 | | | |
| <i>Scavo galleria</i> | | | | | | | | | | |
| Accesso al cantiere | | 5-6 | 2 | 2 | 2 | | 6-6f | 4 | 4 | 4 |
| Fine accesso cantiere | | — | | | | | 6f-7f | 2 | 4 | |
| Costruzione cantiere | | 6i-7i | 4 | 4 | 4 | | 6f-7f | 4 | 4 | 4 |
| Fine costruzione cantiere | | 7i-7'i | 2 | 4 | | | 7f-9f | 2 | 4 | |
| Scavo a progressive | 0-1,2 | 7i-8i | 6 | 6 | 6 | 0-1 | 7f-9f | 10 | 10 | 10 |
| » » » (pozzo) | 1,2-4,2 | 8i-9i | 10 | 10 | 10 | 1-4,1 | 9f-10f | 10 | 10 | 10 |
| » » » | 4,2-6,7 | 9i-10i | 8 | 8 | 8 | 4,1-5,2 | 10f-11f | 4 | 4 | 4 |
| » » » | 6,7-7,3 | 10i-11 | 2 | 2 | 2 | | | | | |
| <i>Totale scavo mesi</i> | | | | | 42 | | | | | 42 |
| <i>Rivestimenti galleria</i> | | | | | | | | | | |
| Rivestimenti galleria | | 7i-11 | 22 | 34 | | | 7f-11 | 20 | 24 | |
| Fine rivestimenti e lavori ac- cessori | | 11-12 | 10 | 12 | | | 11-12 | 10 | 12 | |
| <i>Prove generali</i> | | 12-13 | 2 | 2 | 2 | | 12-13 | 2 | 2 | 2 |
| <i>A riportare mesi</i> | | | | | 44 | | | | | 44 |

| OPERAZIONI | SIMBOLO | ITALIA TEMPO MESI | | PERCORSO CRITICO MESI | SIMBOLO | FRANCIA TEMPO MESI | | PERCORSO CRITICO MESI |
|---|---------|----------------------|------------------|-----------------------------|---------|-----------------------|------------------|-----------------------------|
| | | NECES- SARIO | DISPO- NIBILE | | | NECES- SARIO | DISPO- NIBILE | |
| <i>Ripporto mesi</i> | | | | 44 | | | | 44 |
| <i>Scavo rivestimento diaframmi pozzi centrali in caverna</i> | | | | | | | | |
| Accesso cantiere | 5i-6'i | 4 | 6 | | 5-7f | 6 | 7 | |
| Fine accesso cantiere | 6'i-7'i | 2 | 6 | | | | | |
| Costruzione cantiere | 6'i-7'i | 4 | 6 | | 7f-8f | 6 | 7 | |
| Fine costruzione cantiere | 7i-7'i | 2 | 4 | | | | | |
| Scavo e rivestimento | 7'i-9i | 12 | 14 | | 8f-11f | 19 | 20 | |
| Fine lavori pozzi | 9i-11 | 9 | 10 | | 11-12 | 6 | 8 | |
| <i>Fabbricati esterni e impianti vari</i> | | | | | | | | |
| Completamento progetti | 3-5 | 9 | 10 | | 3-5 | 9 | 10 | |
| Preparazione offerte | 5-7 | 6 | 7 | | 5-7 | 6 | 7 | |
| Scelte-contratti | 7-8 | 6 | 7 | | 7-8 | 6 | 7 | |
| Discarica sistemazione piazzale strada accesso | 8i-9i | 9 | 10 | | 8f-9f | 10 | 11 | |
| <i>Costruzione fabbricati</i> | 9i-11i | 9 | 10 | | 9f-11 | 9 | 10 | |
| Approvvigionamenti impianti | 8-9i | 9 | 10 | | 8-9f | 9 | 10 | |
| Apprestamenti-montaggi | 9i-11 | 9 | 10 | | 9f-11 | 9 | 10 | |
| Fine montaggi in galleria | 11-12 | 12 | 12 | 12 | 11-12 | 12 | 12 | 12 |
| » » » pozzi | 11-12 | 10 | 12 | | 11-12 | 10 | 12 | |
| » » » esterni | 11-12 | 10 | 12 | | 11-12 | 10 | 12 | |
| <i>Percorso critico dei lavori mesi</i> | | | | 56 | | | | 56 |
| <i>Percorso critico totale X + Y + 56 mesi</i> | | | | | | | | |

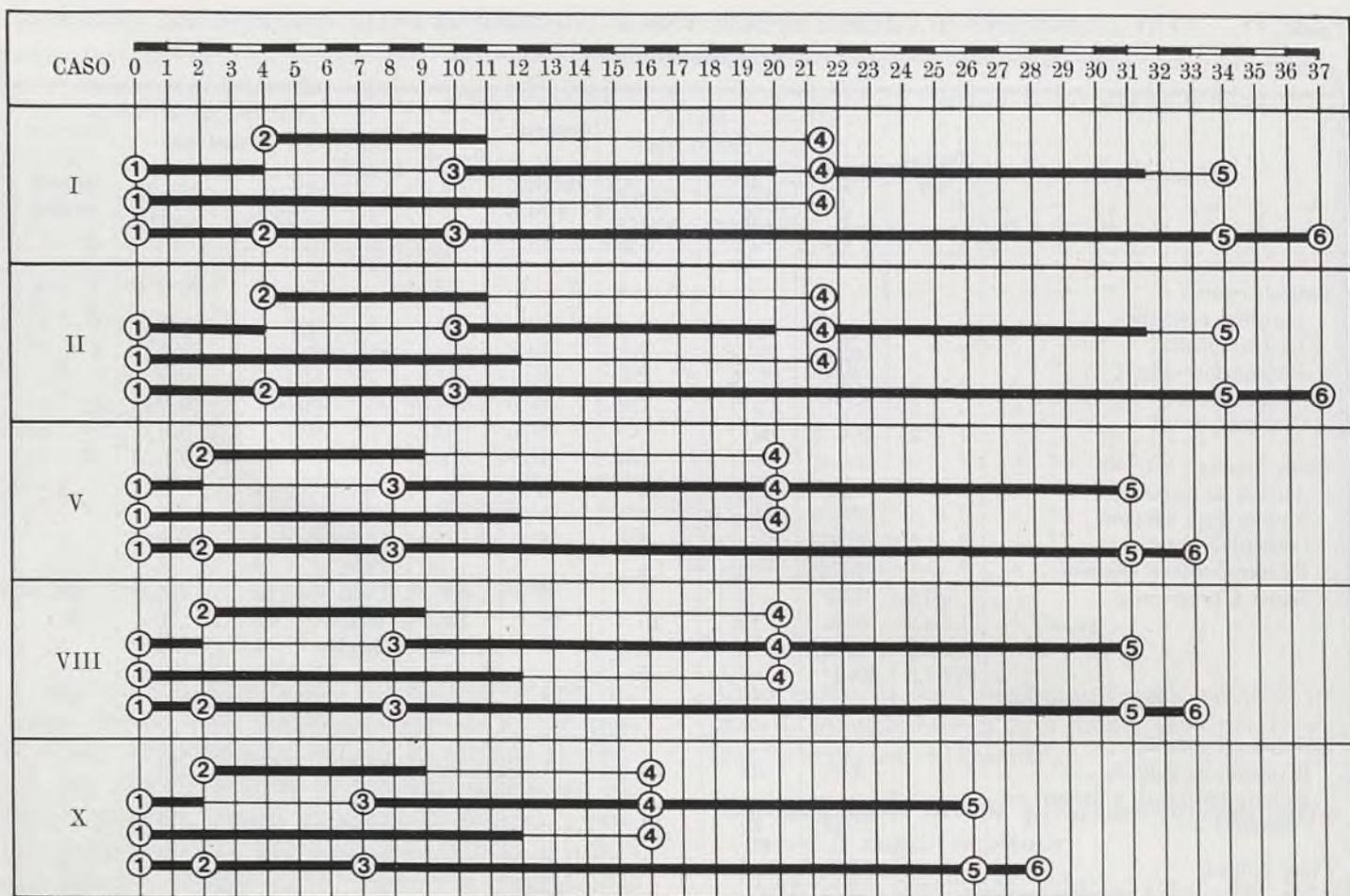


Fig. 13.

Con questi dati è possibile formare la *Tabella V* e il disegno della costruzione normale (fig. 12).

Per il tratto 5-6 sono stati calcolati tutti i percorsi possibili segnati fra parentesi quadre sotto di esso.

Il percorso piú lungo è, naturalmente, quello critico, controllato tornando indietro da 6 a 1 (conviene anche per questa ricerca rifare il diagramma su reticolo temporale come è già stato fatto per la fig. 8. In base alla *Tabella V* sono stati tracciati i diagrammi relativi ai casi I-II-V-VIII-X della tabella (fig. 13).

Per ricavare i vari casi si parte dal costo mensile dell'accelerazione di ogni operazione. Il costo minore è quello della operazione 5-6. Si comincia perciò a guadagnare un mese su di essa (caso II).

Poiché si reputa impossibile ridurre ulteriormente quella operazione, sempre restando nel campo delle operazioni del percorso critico che sono le sole che, per il momento, conviene accelerare, si passa all'operazione 1-2, la piú economica da accelerare fra le rimanenti e si valuta che sia possibile accelerarla, al massimo, di due mesi. Si comincia a guadagnare 1 mese

(caso III) poi 2 (caso IV). Si passa ora ad accelerare la piú economica delle rimanenti la 3-5, ritenendo di poterla ridurre, al massimo, da 24 a 19 mesi. Si comincia col guadagnare un mese (caso V) poi due (caso VI), poi 3 (caso VII) indi 4 (caso VIII) e finalmente il massimo, cioè 5 mesi, col caso IX. Volendo guadagnare ancora un mese è necessario passare all'operazione 2-3, e si guadagna ancora un mese col caso X. Si potrebbe continuare, ma abbiamo già una rosa di 10 casi mediante i quali siamo arrivati a guadagnare un mese per caso passando dai 37 mesi e 34,8 miliardi del caso I ai 28 mesi e 44,7 miliardi del caso X. Mentre col caso II abbiamo guadagnato un mese con un aumento di costo dell'1,7%, col X ne abbiamo guadagnati 9 cioè il 24% circa, con un aumento del 28,5% nel costo. Calcolando i vantaggi ottenuti con i vari acceleramenti è facile individuare il caso piú conveniente.

Nel calcolo di prima approssimazione si è considerato che il costo dell'acceleramento mensile sia costante, il che non è quasi mai vero, però della variabilità relativa è facile tener conto. Va ancora osservato che man mano si riducono i tempi del percorso critico, si ridu-

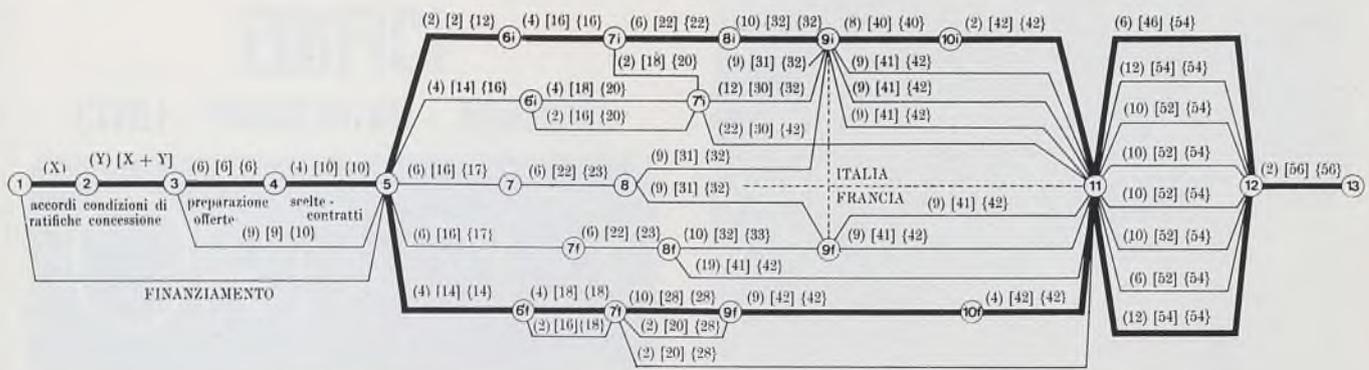


Fig. 14.

cono anche le disponibilità di tempo (margine) delle operazioni non critiche, le quali possono diventare anch'esse critiche come è avvenuto nell'esempio ora dato con le operazioni 3-4 e 4-5 a cominciare dal caso V, per cui un'ulteriore riduzione dell'operazione critica 3-5 avrebbe richiesto una riduzione corrispondente in una delle suddette. Si tratta di un esempio grossolano che ha il solo scopo di chiarire il procedimento.

Nella fig. 14 è dato un pert riassuntivo calcolato dall'A. per i tempi di costruzione della galleria autostradale del Frejus. Si noterà che tutto dipende dalle operazioni $X + Y$ per le quali è molto difficile fare delle previsioni e la cui influenza è notevole, non soltanto per il continuo aumento dei costi della mano d'opera, ma anche perché se l'avvio concreto all'esecuzione avvenisse a fine autunno si perderebbero quasi 6 mesi essendo impossibile cominciare i lavori per le opere murarie, all'esterno, nei mesi invernali.

L'algoritmo di Fulcherson.

Purtroppo per i lavori complessi soggetti a varie incognite aleatorie i sistemi illustrati precedentemente risultano troppo laboriosi.

Si ammette che in alcuni casi un sistema di equazioni lineari possa rappresentare con sufficiente approssimazione il rapporto tempi-costi per ogni operazione. Si basano su questa ipotesi alcuni algoritmi proposti per risolvere il problema dell'ottimizzazione mediante un ordinatore. Fra essi si possono ricordare quello di Kelley (6) e quello di Fulcherson (7) sensibilmente equivalenti, il secondo però è, in USA, il più utilizzato.

In verità se si vuole arrivare a delle approssimazioni, sia pure solo teoricamente, soddisfacenti, è necessario tener presente che quasi tutti i dati preventivi sui quali si lavora sono aleatori per cui il problema si complica non poco perché si finisce per cercare l'ottimizzazione di un programma nel quale le durate e i costi sono soggetti a cambiamenti imprevedibili, ad esempio, per un semplice sciopero o per un sabotaggio.

(6) J. E. KELLEY, *Critical Path planning and Scheduling*, Matem. Basis Opns Res Vlg N. 31961.

(7) D. R. FULCHERSON, *A Network Flow computation for project cost curves*, Management science, gennaio 1961.
A. KAUFMANN - G. DESHAZEILLE, *La méthode du chemin critique*, Dunod, 1966.

La Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino accoglie nella « Rassegna Tecnica », in relazione ai suoi fini culturali istituzionali, articoli di Soci ed anche non Soci, invitati. La pubblicazione, implica e sollecita l'apertura di una discussione, per iscritto o in apposite riunioni di Società. Le opinioni ed i giudizi impegnano esclusivamente gli Autori e non la Società.

Direttore responsabile: **MARIO FEDERICO ROGGERO**

Autorizzazione Tribunale di Torino, n. 41 del 19 Giugno 1948

Spedizione in abbonamento postale GR III/70 - Mensile

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - CORSO SIRACUSA, 37 - TORINO