

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI FEDERICO II – NAPOLI
FACOLTA' DI INGEGNERIA**

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

Appunti di
Tecnica e Gestione dei Lavori
Prof.ing.Francesco Paolo Russo

MACCHINE PER MOVIMENTI DI TERRE

Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti “Luigi Tocchetti”

1. PREMESSA

Le macchine per i lavori in terra possono essere divise in:

- a) macchine per lo scavo
- b) macchine per lo scavo ed il trasporto
- c) macchine per la rottura
- d) macchine per il costipamento

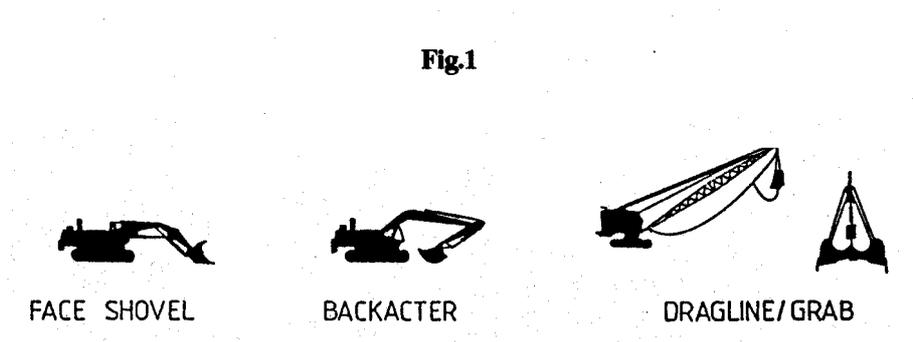
Le dimensioni del progetto, le caratteristiche del terreno nella zona di scavo, i volumi di materiale in gioco e molti altri fattori, influenzano la scelta del tipo di macchina.

In genere le macchine per lo scavo ed il trasporto sono utilizzate in operazioni di livellamento ed ammasso dei terreni; le macchine per lo scavo invece, hanno un campo di impiego molto più specifico.

Alla categoria a) appartengono gli escavatori universali che si distinguono in:

- escavatori a benna diritta (face shovel)
- escavatori a benna rovescia (backacter)
- escavatori a benna mordente (grab)
- escavatori a benna trascinata (dragline)

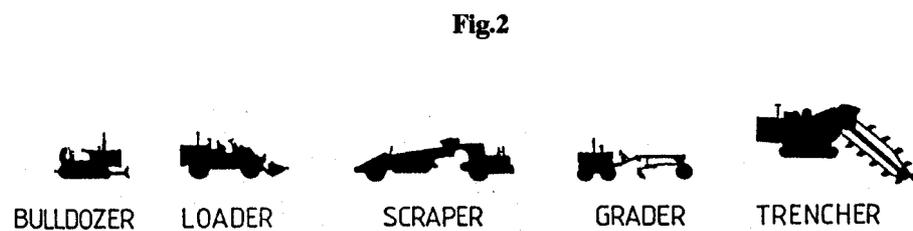
Gli escavatori rimuovono il terreno e lo caricano sui mezzi di trasporto senza cambiare posizione; essi sono caratterizzati da una elevata produttività (quantità di terreno rimossa nell'unità di tempo).



Alla categoria b) appartengono:

- apri pista (bulldozer, tiltadozer, angledozer)
- pale caricatori (loader)
- ruspe (scraper)
- livellatrici (grader)

Queste macchine rimuovono, trasportano e depositano il materiale di scavo in un ciclo. Il loro utilizzo risulta particolarmente vantaggioso quando grandi volumi di terreno devono essere mossi su terreni accidentati.



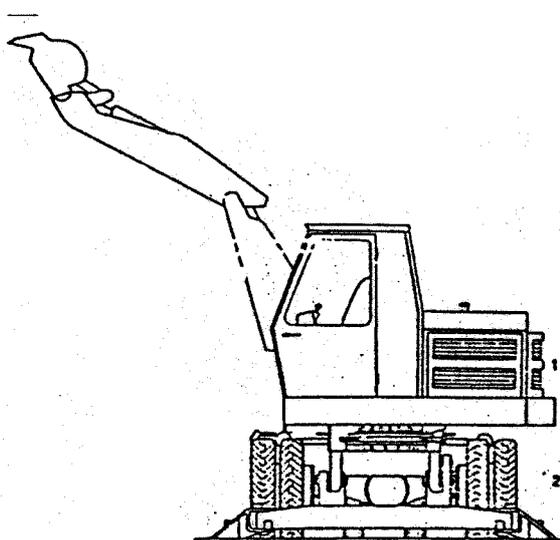
2. MACCHINE PER LO SCAVO

Gli escavatori universali sono così denominati perchè costituiti da una macchina base sulla quale possono essere montati vari tipi di equipaggiamenti che rendono possibile lo svolgimento di diverse operazioni di lavoro.

La macchina base è costituita da un carro e da una sovrastruttura ruotante (fig.3). Il carro comprende tutti i meccanismi occorrenti allo spostamento della macchina sul terreno; la struttura ruotante comprende, invece, la cabina con i comandi e tutti i congegni per lo scavo.

Gli escavatori possono essere gommati o cingolati. I primi hanno piccole dimensioni (pala fino a 2 mc, peso fino a 20 t), sono adatti a lavori su terreno resistente e pressochè orizzontale, sono dotati di elevata velocità di traslazione (20-30 Km/h); durante il loro impiego la stabilità della macchina può essere incrementata da stabilizzatori retrattili a comando idraulico.

Fig.3



Gli escavatori cingolati possono avere dimensioni maggiori (benne fino a 7 mc, peso fino a 150 t); sono in grado di muoversi su terreni molto accidentati o scarsamente portanti, grazie alla bassa pressione esercitata dai cingoli (0,3-1,5 Kg/cm²); hanno modesta velocità di traslazione.

Il sistema di comando può essere a funi o idraulico; l'evoluzione tecnologica ha portato alla costruzione di escavatori completamente idraulici che sono in grado di esercitare sforzi di spinta oltre che di tiro.

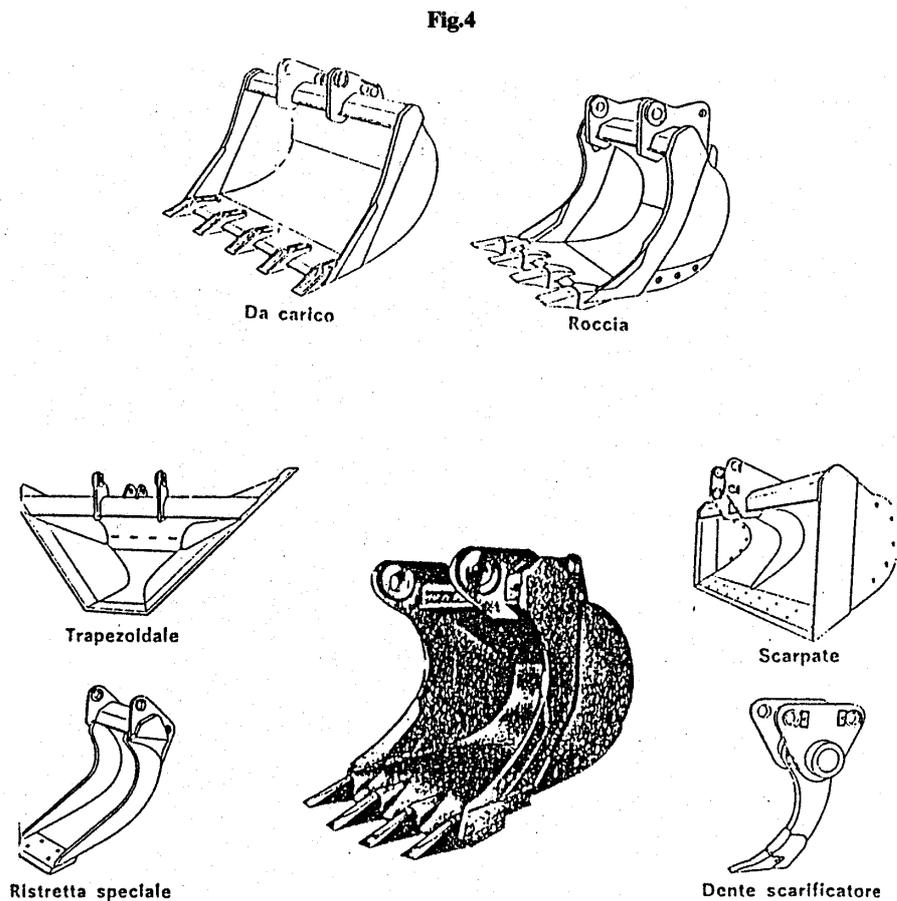
L'attrezzatura di scavo è costituita da un primo braccio detto braccio base, incernierato sulla torretta, da un secondo braccio, detto braccio di scavo (avambraccio o stick), incernierato al primo ed un attrezzo finale (benna rovescia, frontale, mordente, martello demolitore, ecc.) incernierato al braccio di scavo.

Qualsiasi macchina, anche se dotata di un solo braccio base, offre sempre la scelta fra due o più bracci di scavo, per meglio adattarsi alle varie esigenze di lavoro.

2.1. Equipaggiamento a benna frontale o rovescia

Componente fondamentale dello escavatore è la benna, punto di contatto tra la macchina ed il materiale da scavare.

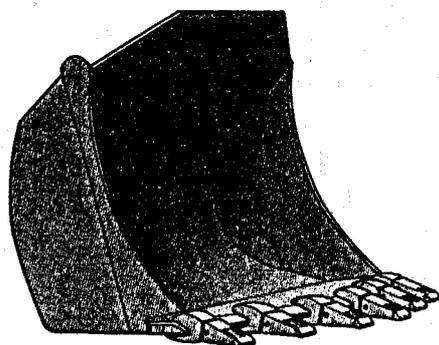
In fig.4 sono riportati i tipi di benna più usati.



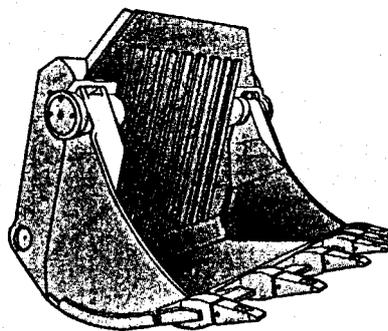
Le benne frontali possono distinguersi in due tipi (fig.5):

- benna a scarico frontale
- benna a scarico di fondo

Fig.5



Benna a scarico frontale

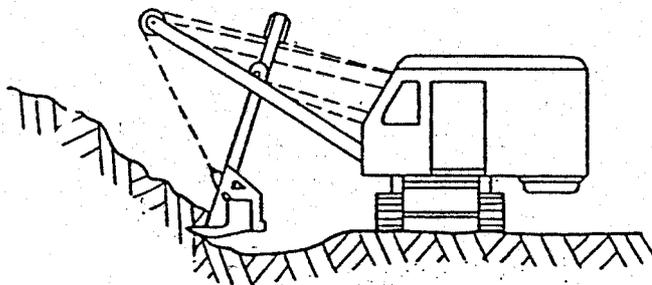


Benna a scarico dal fondo

La macchina base, in relazione alle esigenze di lavoro può essere equipaggiata:

- a cucchiaio frontale (fig.6), adatta per i lavori al di sopra del piano di appoggio in terre non molto compatte, ovvero per il caricamento di materiale sciolto

Fig.6



- a cucchiaio rovescio (fig.7), adatto per i lavori al di sotto del piano di posa (ad.es.taglio delle trincee e regolarizzazione delle scarpate).

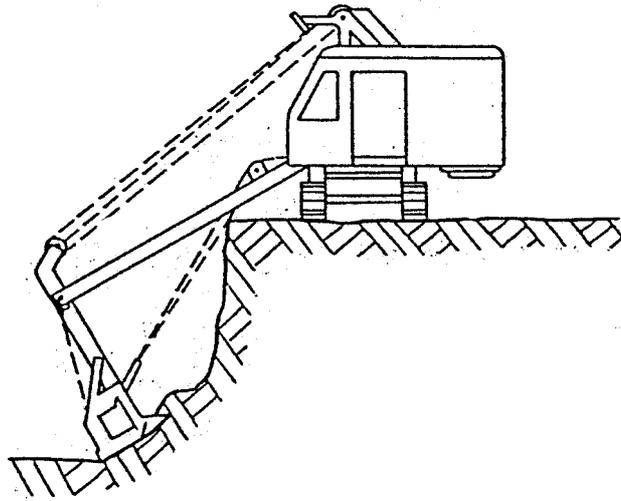


Fig.7

2.1.1 Analisi del ciclo di lavoro

Il ciclo di lavoro di un escavatore è composto in 4 fasi:

- a) carico benna
- b) rotazione a pieno carico
- c) scarico benna
- d) rotazione a vuoto

Il tempo di ciclo totale (T_c) dell'escavatore dipende dalle dimensioni della macchina e dalle condizioni di lavoro. In base all'esperienza il tempo di ciclo è mediamente pari a circa 30 secondi.

2.2. Equipaggiamento benna mordente

2.2.1 Sistema di comando a funi

Nelle figg.8 e 9 è riportato l'equipaggiamento a benna mordente, costituito da un braccio e da una benna che si muove sulla verticale della carrucola di testa del braccio. Un meccanismo fa aprire e chiudere le valve della benna che, aperte, penetrano nel terreno, e chiuse, lo imprigionano.

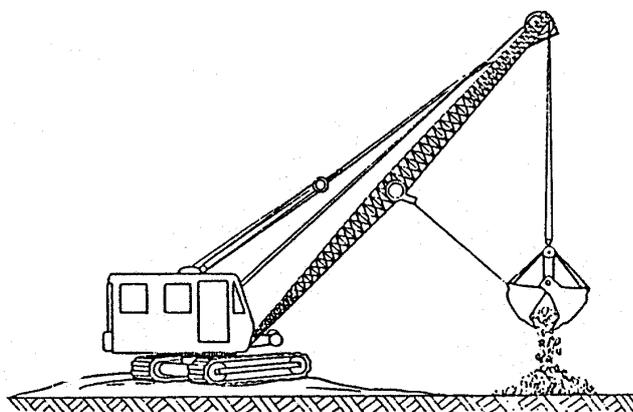


Fig.8

Il movimento di sollevamento della benna e quello di rotazione della sovrastruttura consente di scaricare il terreno nella posizione voluta.

La forza di penetrazione della benna è legata al solo peso proprio; per tale motivo queste macchine lavorano in terreni di bassa consistenza.

Questa attrezzatura viene utilizzata per pozzi o scavi a sezione obbligata di grande profondità.

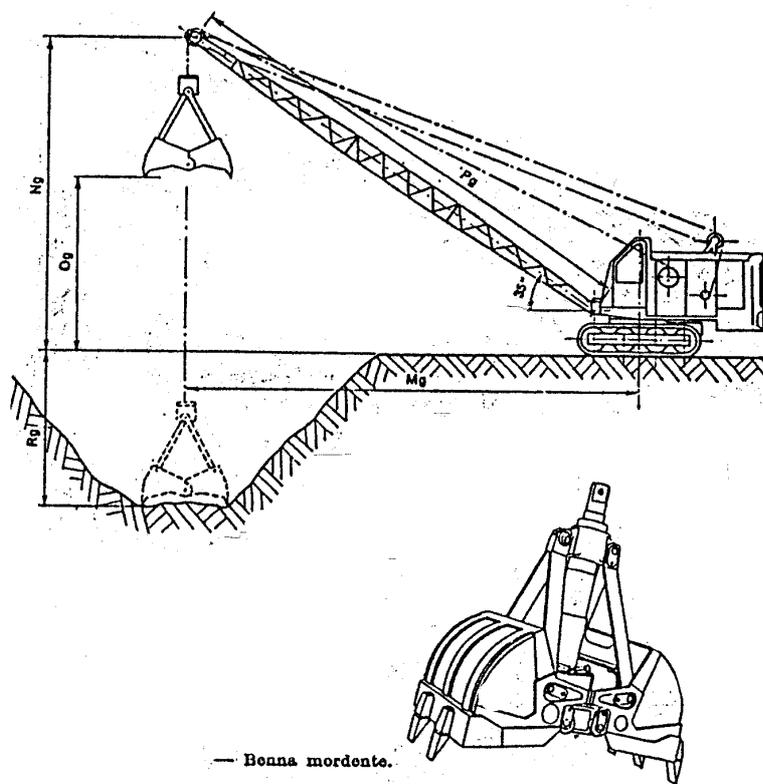


Fig.9

2.2.2 Sistema di comando idraulico

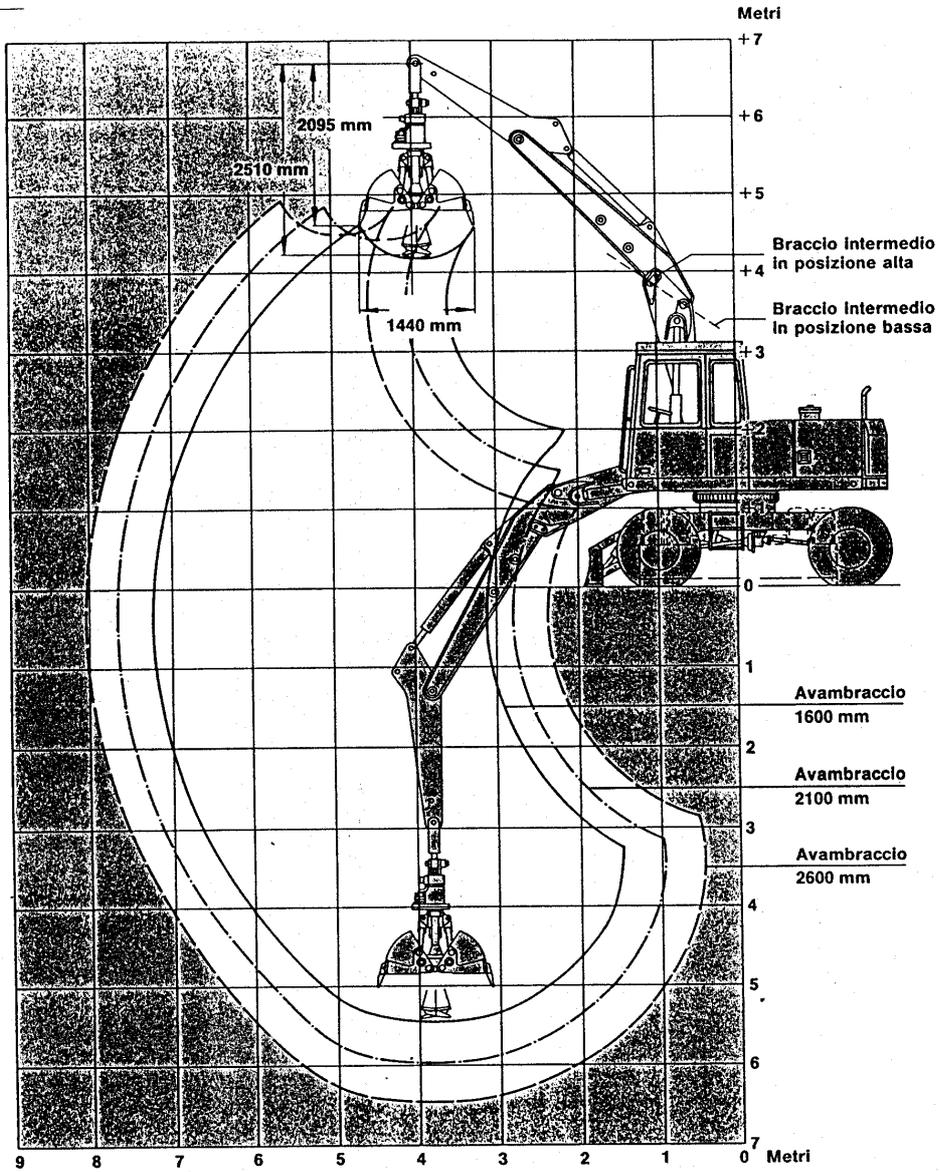
Nella fig.10 è mostrato un equipaggiamento a benna mordente montato su un escavatore idraulico.

Questa macchina possiede una forza di penetrazione legata alla potenza dell'impianto idraulico, quindi è indicata anche per scavi in terreni di buona consistenza.

Rispetto all'escavatore a funi ha però delle limitazioni di impiego:

- profondità di scavo limitata (circa 14 m)
- ridotto raggio di azione

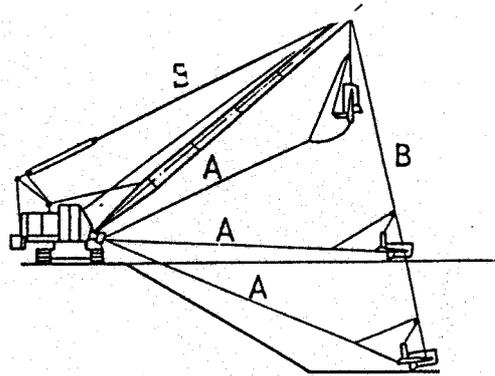
Fig.10



2.3. Equipaggiamento a benna trascinata

L'equipaggiamento (fig.11) è costituito da un cavalletto, da un lungo braccio a traliccio e da una benna che, abbassandosi, penetra nel terreno e, trascinata, scava. Il movimento di innalzamento e di abbassamento della benna è regolato da una fune di sollevamento, mentre quello di trascinamento è regolato da una fune traente.

Fig.11



Questa macchina presenta il vantaggio di avere un largo raggio di azione, ma non è adatta per terreni duri perchè la forza di penetrazione è dovuta alla sola gravità della massa del cucchiaio.

2.3.1 *Analisi del ciclo di lavoro*

Il ciclo di lavoro è composto di 6 fasi (fig.12):

Fig.12

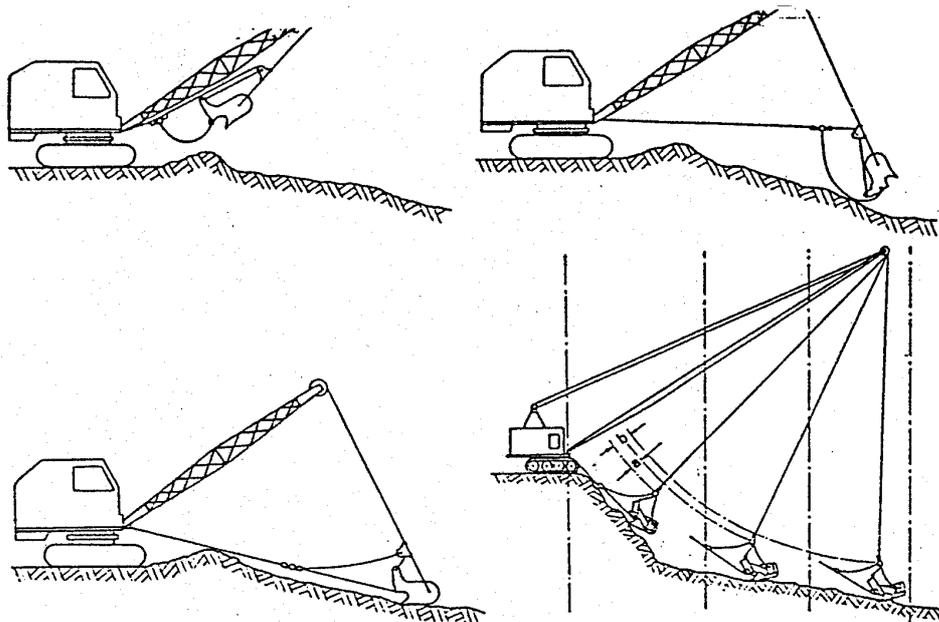
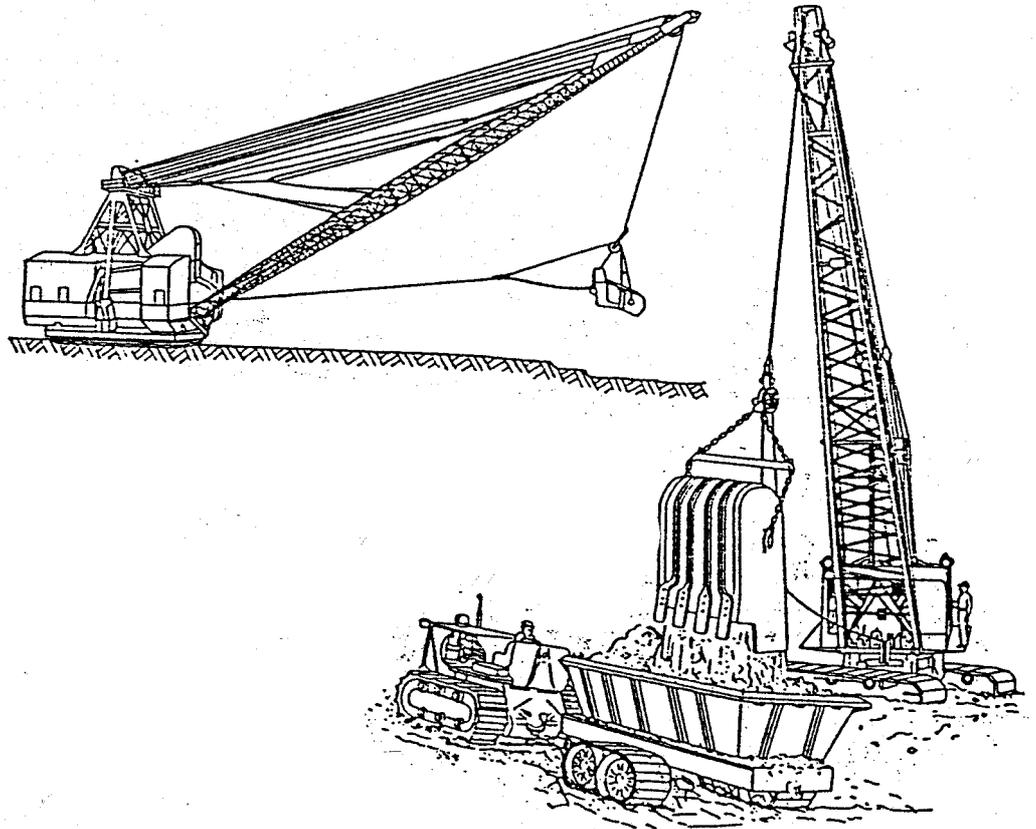


Fig.12



- a) abbassamento della benna fino a che questa, lanciata, non penetri con i suoi denti nel terreno;
- b) trascinarsi a mezzo della fune traente della benna che, spostandosi nel terreno, scava e si riempie di terra;
- c) sollevamento della benna mediante la fune di sollevamento mentre resta bloccata la fune traente;
- d) rotazione a pieno carico;
- e) scarico;
- f) rotazione a vuoto.

2.4. Calcolo della produzione oraria

Noti il tempo di ciclo ed il carico della benna, si può ricavare la produzione impiegando le seguenti formule:

- Produzione teorica $P_t = C \times r \times \frac{3600}{T_c} \times \frac{1}{s} \times T_c (\text{mc/h})$

- Produzione reale $P = f \times P_t (\text{mc/h})$

dove:

- C = capacità a colmo benna (mc)
- r = fattore di riempimento (<1)
- s = fattore di rigonfiamento (>1)
- f = efficienza sul lavoro (<1)
- T_c = tempo di ciclo (sec.)

Nella determinazione della produzione oraria giocano un ruolo importante numerosi fattori la cui valutazione risulta estremamente difficoltosa essendo essi stessi funzione di variabili aleatorie.

Di seguito si riporta un grafico (fig.13) che permette di individuare con buona approssimazione la produzione oraria di un escavatore universale a benna diritta.

Utilizzando opportuni coefficienti comparativi si può risalire alla produzione oraria degli escavatori a benna rovescia, a benna mordente ed a benna trascinata.

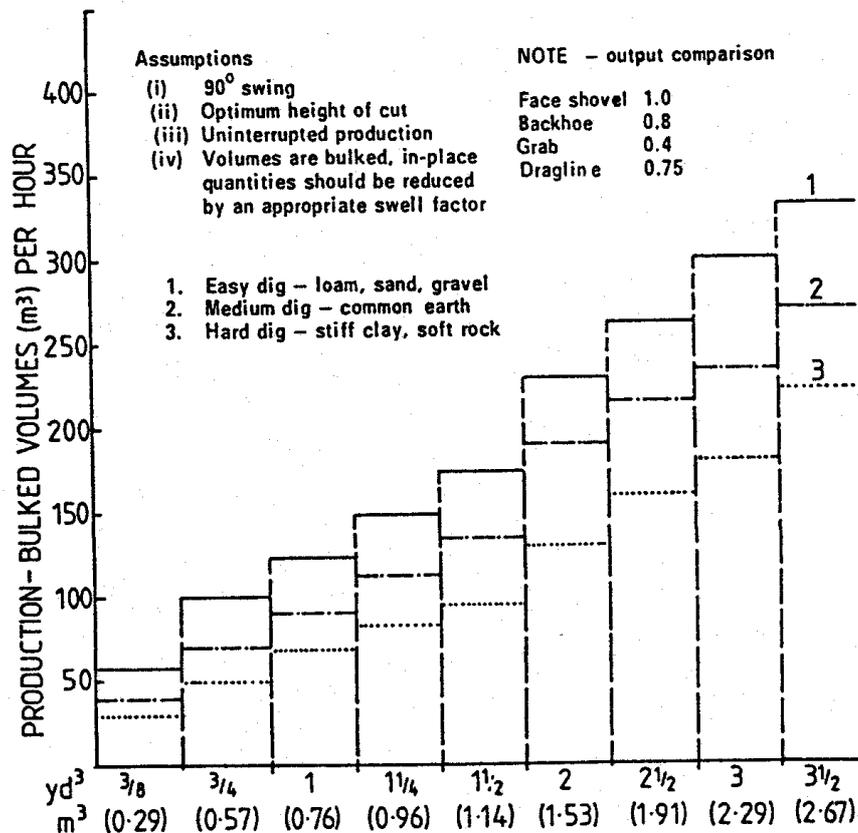


Fig.13

Sull'asse delle ascisse è riportata la capacità a raso della benna (figg.14-15-16); sull'asse delle ordinate è riportata la produzione oraria riferita al volume di terreno sciolto.

Fig.14



Fig.15

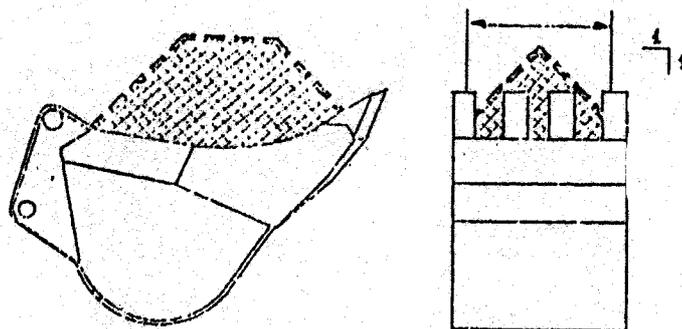
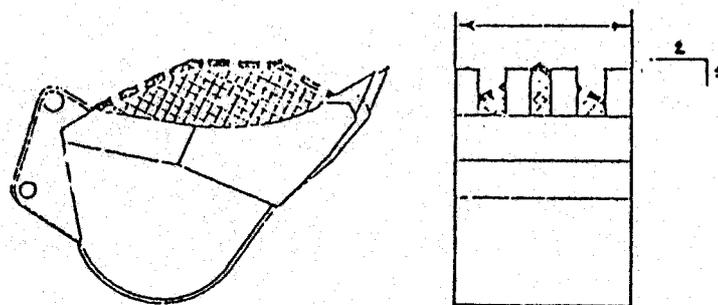


Fig.16



Il valore della produzione oraria del grafico si riferisce a condizioni ottimali; esso va corretto in relazione alle reali condizioni di lavoro e per tenere conto del rigonfiamento del terreno sciolto rispetto alla densità in banco.

$$P = (P_{\text{ott}} \times \alpha \times \beta \times \gamma / s) \times f \text{ [mc/h]}$$

dove:

- P_{ott} = produzione ottimale letta sul grafico [mc/h]
 s = coefficiente di rigonfiamento (v.tab.1)
 α = coefficiente di rotazione della torretta; per angoli da 90° (v .tab.2)
 β = coefficiente di comparazione; per macchine non attrezzate con la benna frontale (v .tab.3)
 γ = coefficiente di profondità di scavo; <1 per condizioni di lavoro diverse da quelle ottime (benna colma con un solo movimento)
 f = efficienza sul lavoro (<1)

Tabella 1

coefficiente di rigonfiamento "S":

- roccia fratturata	1,5	2,0
- ghiaia	1,0	1,1
- argilla	1,25	1,4
- sabbia	1,0	1,3
- terreno comune	1,1	1,3

Tabella 2

coefficiente di rotazione della torretta "α":

angolo di rotazione	45°	60°	75°	90°	120°	150°	180°
α	1,26	1,16	1,07	1,0	0,88	0,79	0,71

Tabella 3

coefficiente di comparazione "β":

- escavatore a benna diritta	1,0
- escavatore a benna rovescia	0,8
- escavatore a benna mordente	0,4
- escavatore a benna trascinata	0,75

3. MACCHINE PER LO SCAVO ED IL TRASPORTO

3.1. Pala caricatrice

Le pale caricatrici (fig.17) sono particolari tipi di trattori montati su cingoli o su pneumatici. Hanno anteriormente un telaio elevatore al quale è incernierata una benna con lama tagliente, che per mezzo di bielle, può essere sollevata ed abbassata, effettuando così il carico e lo scarico del materiale e spesso anche lo scavo del terreno da asportate e trasportare altrove.

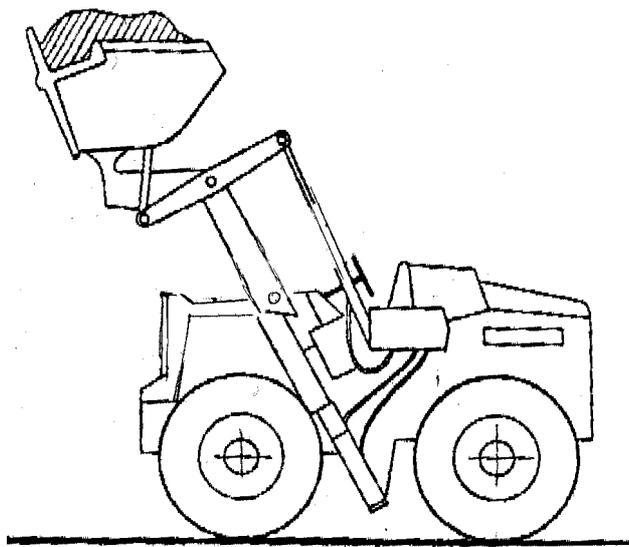


Fig.17

Le pale cingolate (fig.18) hanno velocità di traslazione modeste (8+13 Km/h nei due sensi), pressione specifica sul terreno bassa (0,5-1 Kg/cm²), potenza fino a 220 KW, capacità delle benne fino a 3,5 mc; sono pertanto adatte per lo scavo e per brevi spostamenti (fino a 80 m).

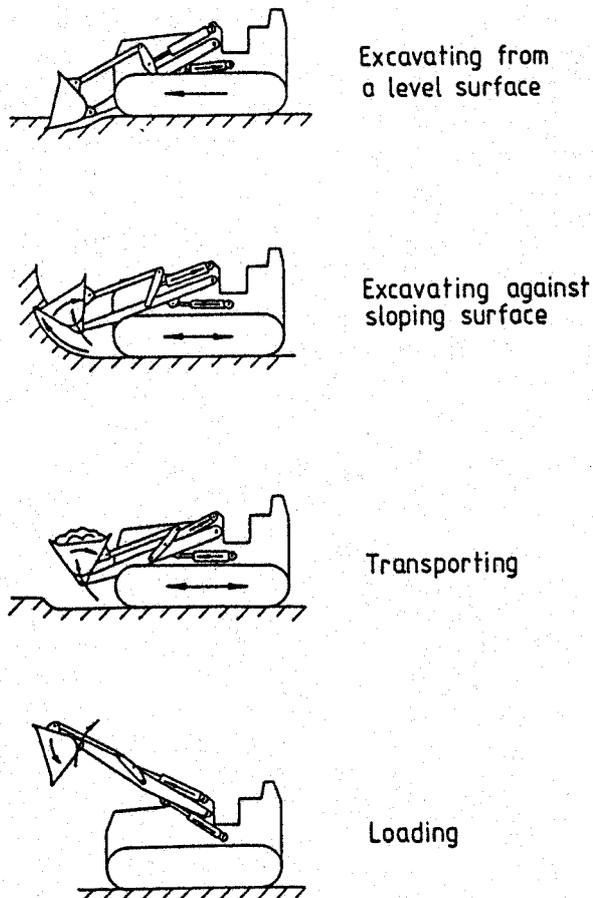
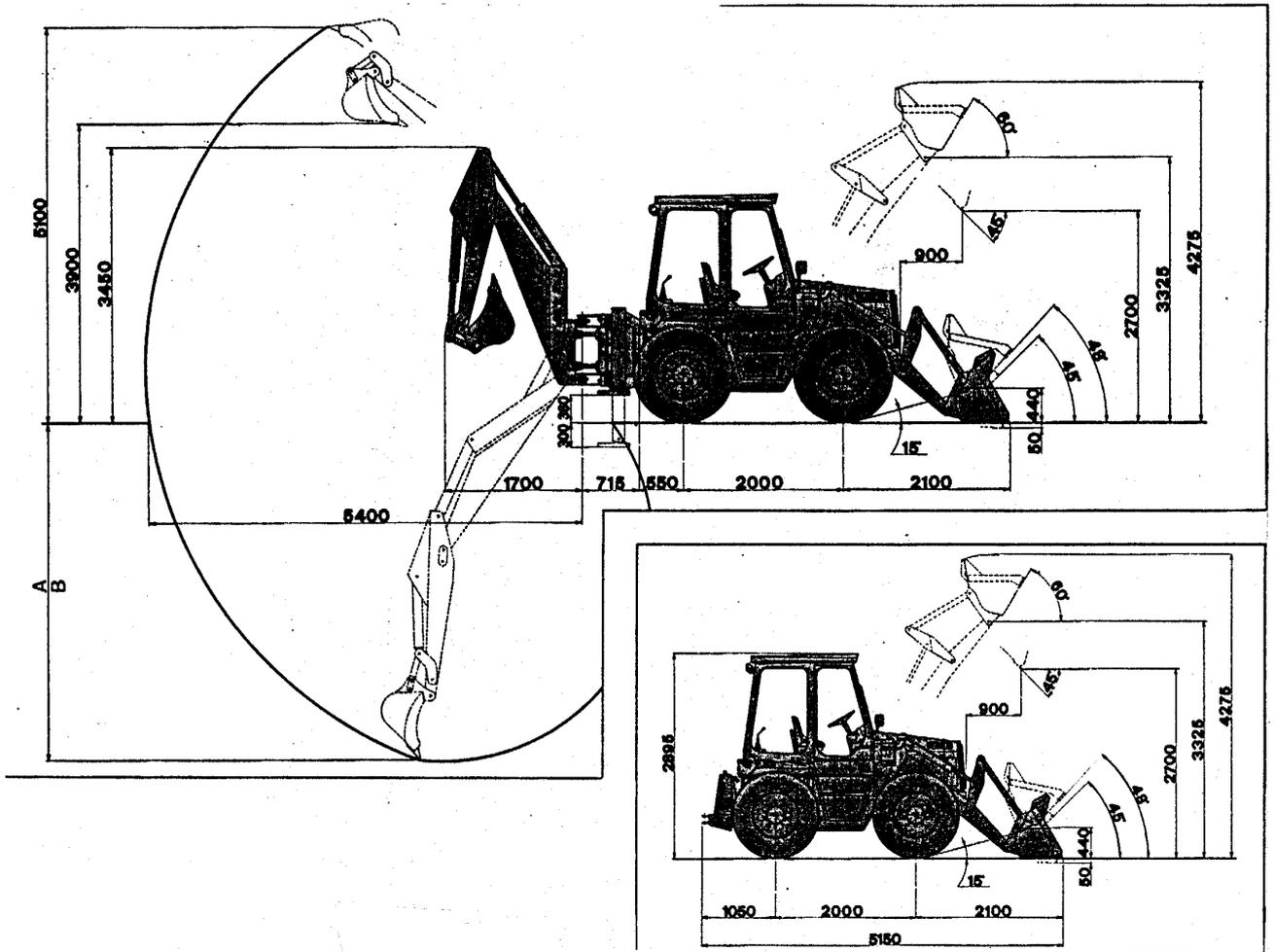


Fig.18

Le pale gommatae (fig.17) possono essere a telaio fisso con uno o entrambi gli assi sterzanti, oppure a telaio articolato intorno ad uno snodo centrale, che consente la sterzata con gli assi fissi.

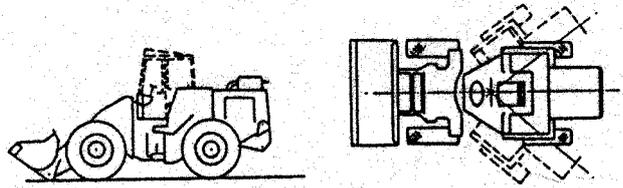
Le pale a telaio fisso hanno potenza e capacità della benna ridotte (30- 70 KW, 0,5-1 mc); spesso sono dotate posteriormente di un retroescavatore a cucchiaio rovescio che può ruotare di circa 120 gradi; sono adatte a lavori di modesta entità: manutenzione, scavi di fossi (fig,19).

Fig.19



Le pale gommatae a telaio articolato (fig.20) hanno velocità elevata (25-40 Km/h nei due sensi), potenza e capacità della benna variabile in un ampio arco (40-250 KW, 1-5 mc); sono pertanto adatte per caricare materiale sciolto e per maggiori spostamenti (fino a 200 m).

Fig.20



Essendo le pale cariatrici adatte a diversi impieghi, esistono numerosi tipi di benna (figg.21-22-23):

- benna per impieghi generali
- benna per materiali sciolti
- benna per lo scavo in banco
- benna da roccia
- benna a scarico laterale, particolarmente indicata per caricare in spazi ristretti

Fig.21

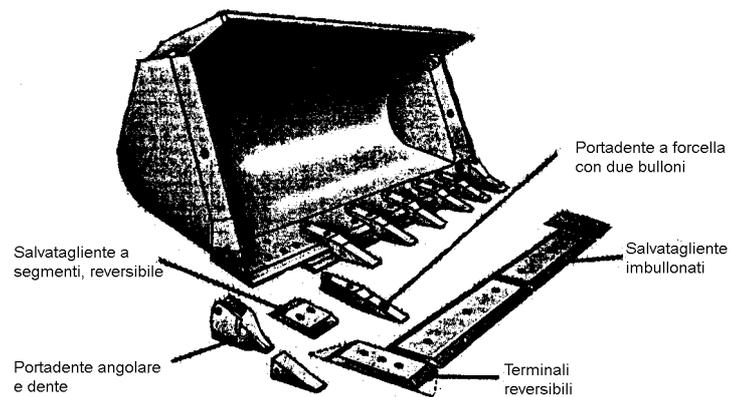
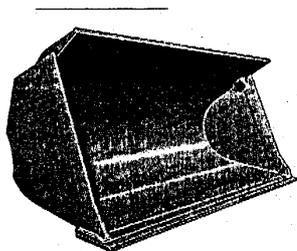
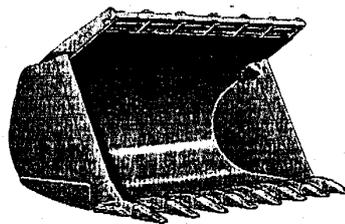


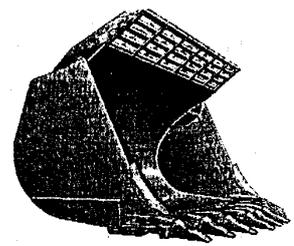
Fig.22



General Purpose Bucket

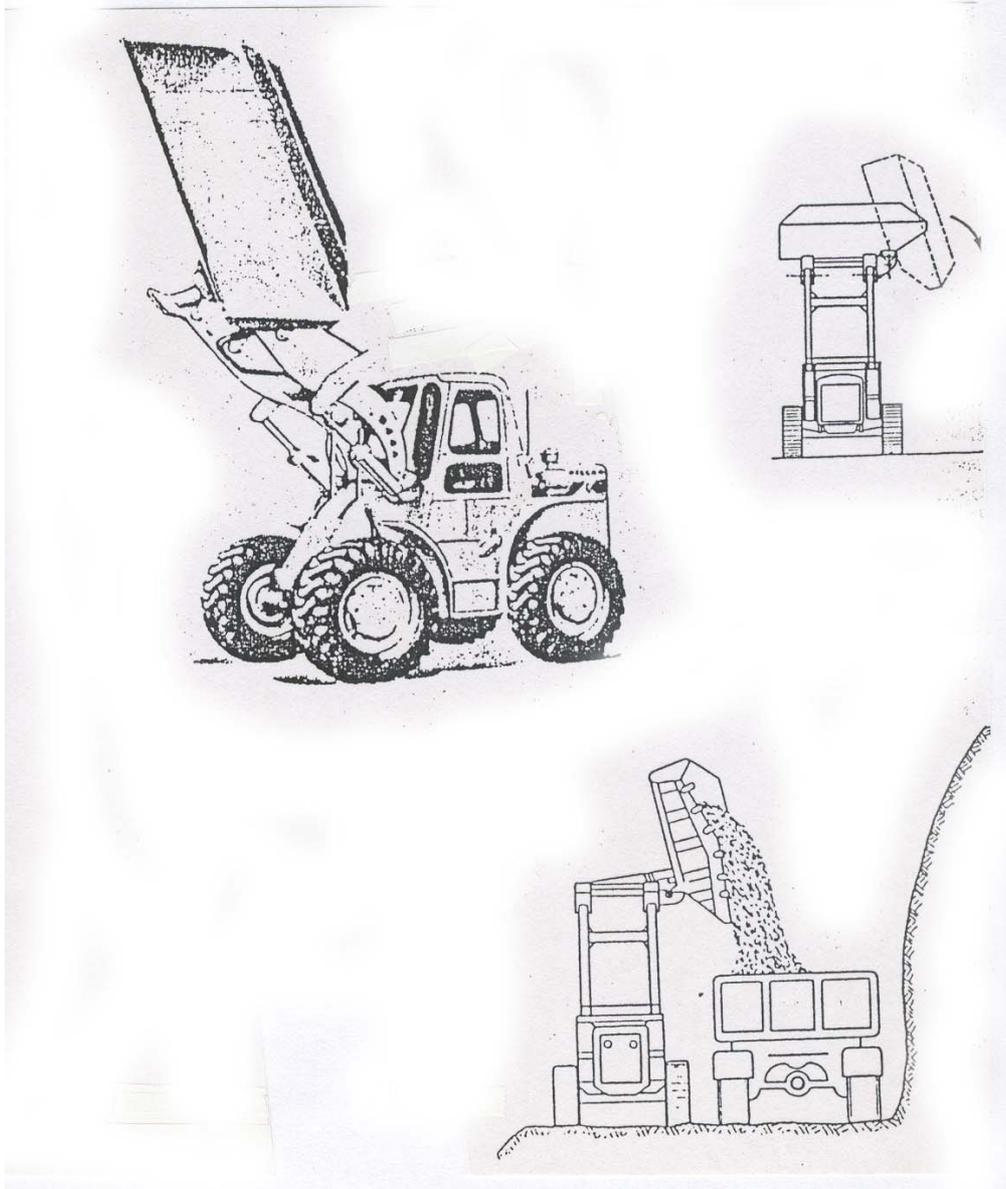


Straight-edge Rock Bucket



V-edge Bucket with Modulok System

Fig.23

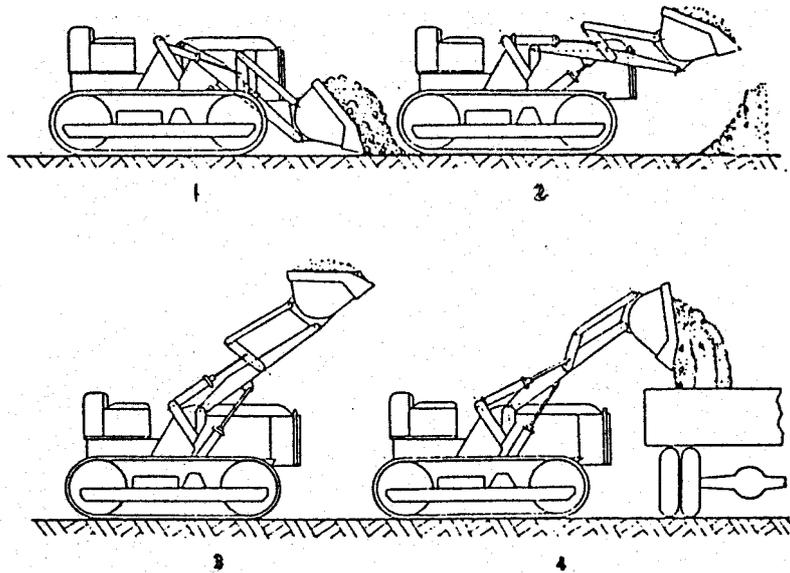


Per quanto si riferisce ai movimenti operativi delle macchine, esse si distinguono in tre diversi tipi

3.1.1 Pala con carico e scarico frontale

In questa macchina, il telaio elevatore non può compiere più di 1/4 di giro. Il funzionamento è descritto in fig.24

Fig.24



Caricatore escavatore con braccio snodato, tipo Allis-Chalmers

1. posizione di carico; 2. posizione di trasporto; 3. sollevamento max del carico; 4. rovesciamento della benna

Se determinate condizioni del terreno o mancanza di spazio non offrono un'ampia libertà di movimento, si eseguono le fasi di lavoro descritte in fig.25. Molte volte si riesce a limitare questi movimenti sfruttando le possibilità di articolazione orizzontale che hanno le pale a telaio articolato (fig.26).

Fig.25

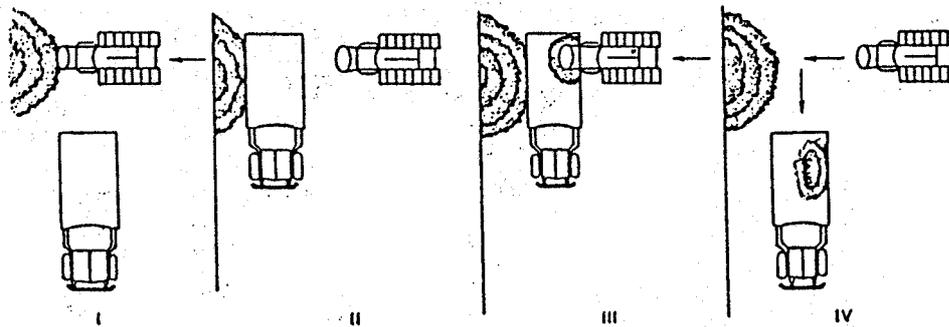
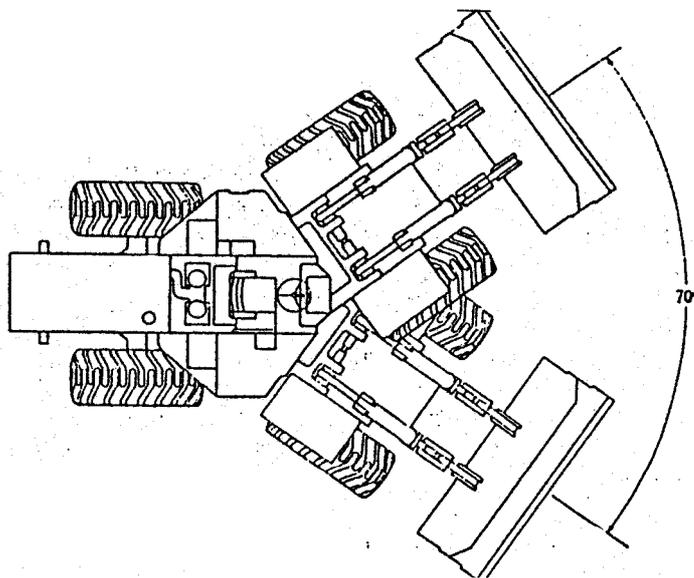


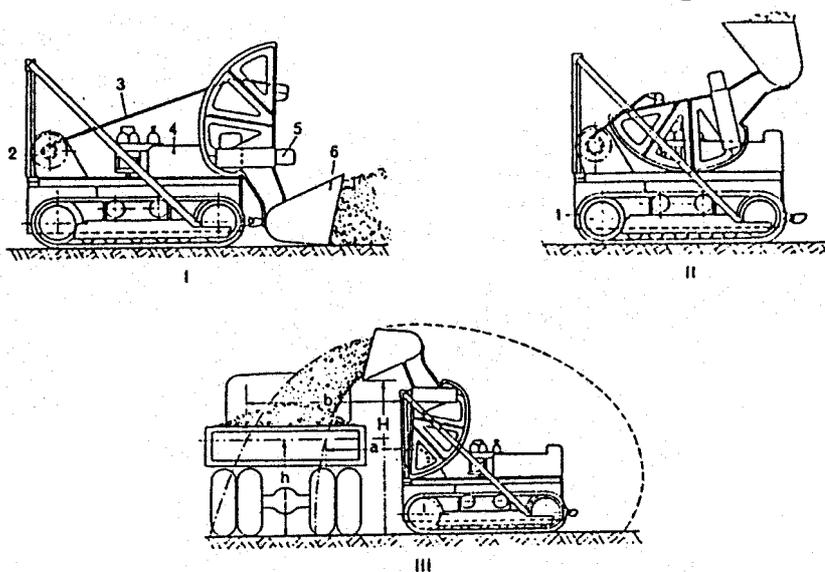
Fig.26



3.1.2 Pala con carico anteriore e scarico posteriore

Questa pala differisce dalla precedente per la maggior escursione del telaio elevatore, il quale può compiere oltre mezzo giro. Questo tipo di macchina è poco usato nei cantieri di movimento di terra, mentre trova largo impiego nelle gallerie (fig.27).

Fig.27



Caricatore Elmc: I. posizione di carico; II. posizione per il trasporto; III scarico.

1. cingolo; 2. tamburo per la catena; 3. catena per il tiro del braccio mobile; 4. motore Diesel; 5. fermo a molla; 6. benna.

3.1.3 Pala con scarico laterale

In questa macchina il prelevamento e sollevamento del materiale avvengono con telaio in posizione frontale.

Lo scarico può avvenire lateralmente, mediante particolari articolazioni che collegano il telaio alla benna (fig.23).

Durante il ciclo di lavoro non occorre spostare l'autocarro perchè è sufficiente che la pala, effettuato il carico, retroceda fino ad affiancarsi all'autocarro in modo da poter effettuare lo scarico dopo aver ruotato la benna di 90 gradi verso destra e verso sinistra.

3.1.4 Analisi del ciclo di lavoro

Il tempo di ciclo T_c di una pala caricatrice è pari a:

$$T_c = T_d + T_b + T_t^{(1)} + T_t^{(2)} + T_s \text{ [sec.]}$$

dove:

T_d è il tempo di carico

T_b è il tempo necessario per svolgere il ciclo base (tempi di manovra)

$T_t^{(1)}$ è il tempo di trasporto a pieno carico

$T_t^{(2)}$ è il tempo di trasporto a vuoto

T_s è il tempo di scarico

Il tempo di carico " T_d " è funzione del materiale e della capacità della benna. Il tempo " T_b " del ciclo base è funzione del tipo di macchina (su cingoli o gommata, a telaio fisso o mobile) e del numero di manovre in relazione alla tecnica di lavoro.

I tempi di trasporto " T_t " sono funzione da una parte del peso e della potenza della macchina, dall'altra della pendenza, delle condizioni della pista e della distanza di trasporto.

Il tempo di scarico " T_s " è influenzato dalle dimensioni della zona di scarico.

3.1.5 Calcolo della produzione oraria

Nota il tempo di ciclo e la capacità della benna si può calcolare la produzione oraria:

$$\text{Produzione teorica} \quad P_t = C \times r \times \frac{3600}{s} \times T_c$$

$$\text{Produzione reale} \quad P = f \times P_t$$

dove:

C = capacità a colmo della benna (mc)

r = fattore di riempimento (<1)

s = fattore di rigonfiamento (>1)

f = efficienza sul lavoro (<1)

T_c = tempo di ciclo (sec.)

Nei grafici 28 e 29 sono riportati valori di produzione oraria in condizioni ideali, rispettivamente per pale cingolate e per pale gommate.

Tali valori di produzione vanno opportunamente corretti in relazione alle reali condizioni di lavoro.

$$p = (P_{ott}/s) \times f \times \delta \text{ [mc/h]}$$

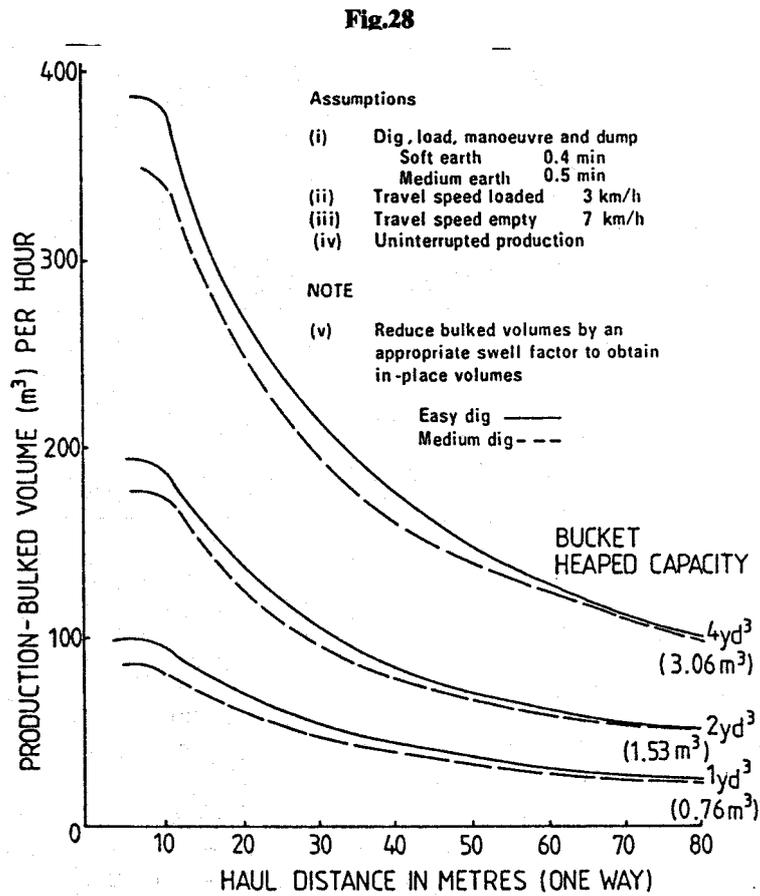
dove:

P_{ott} = produzione ottimale letta sul grafico [mc/h]

s = coeff.di rigonfiamento (v.tab.1 del par.2.4)

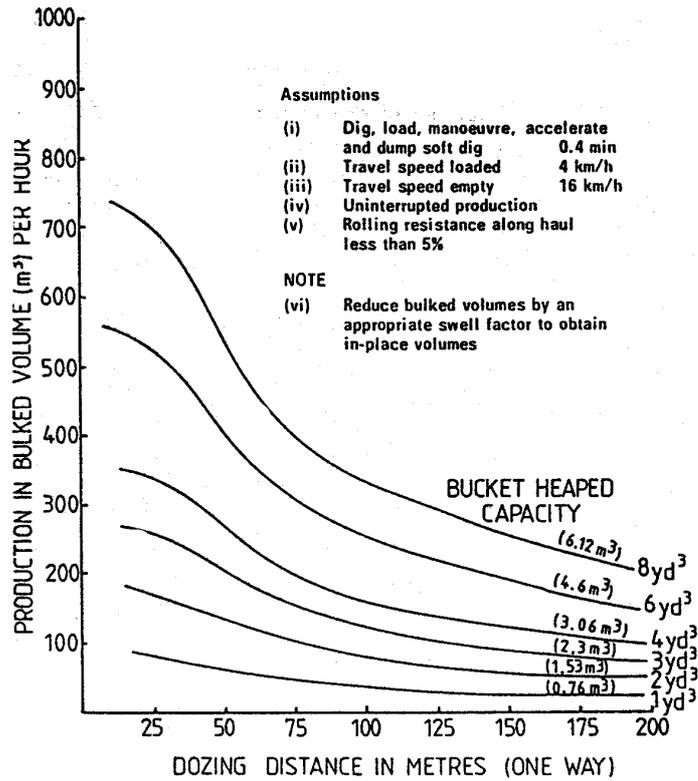
f = efficienza sul lavoro (<1)

δ = coeff.correttivo per tempi di carico, scarico, manovra e trasporto diversi da quelli riportati nel grafico.



N.B.: la determinazione del coeff. δ può essere effettuata calcolando il rapporto tra il tempo di ciclo ottimo ed il tempo di ciclo reale.

Fig.29



3.2. Apripista

Con il nome generico di apripista si intende un ampio gruppo di macchine che compiono il lavoro di scavo per mezzo di una lama posta anteriormente e quello di spostamento (distanza massima ~80 m), spingendo con la stessa lama il materiale rimosso (figg.30-31).

Queste macchine sono costituite da un trattore il quale porta anteriormente una lama di opportuna larghezza ed a sagoma concava, e dagli organi necessari al comando di questa ed all'accoppiamento con il trattore.

La lama ha il taglio a coltello e la sua particolare sagomatura aumenta il rendimento dello scavo.

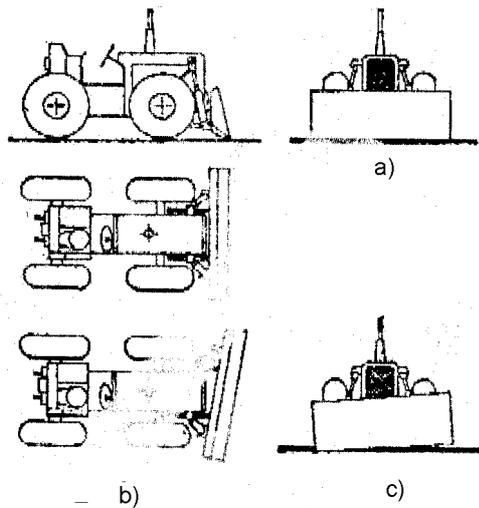
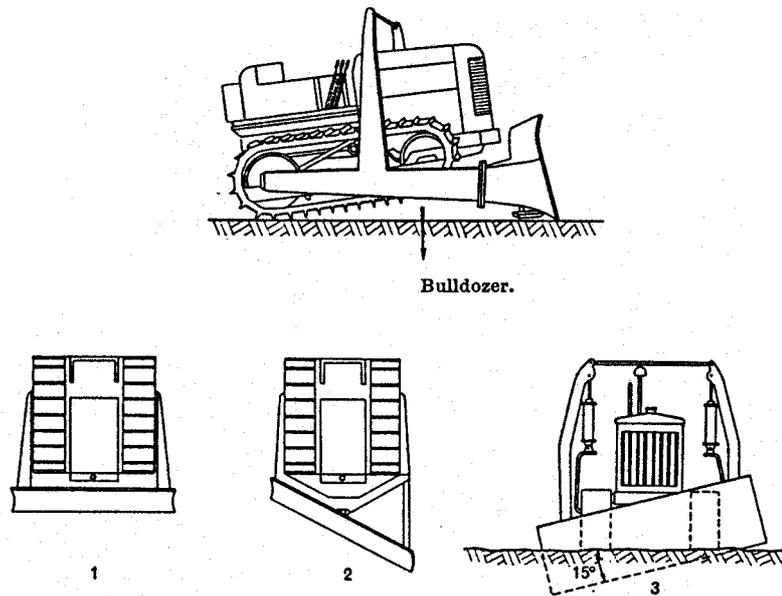


Fig.30

Fig.31



Il trattore trasmette alla lama la potenza di spinta mediante due robusti bracci che, in posizione di riposo, la tengono sollevata.

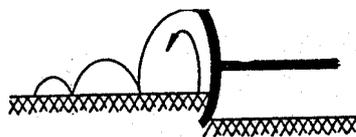
La classificazione che di norma si adotta per questo tipo di macchine dipende dalla inclinazione che può assumere la lama.

Si distinguono tre tipi principali (fig.31):

- a) apripista a lama dritta (bulldozer)
- b) apripista a lama orientabile (angledozer)
- c) apripista a lama inclinabile (tiltdozer)

La lama del bulldozer, leggermente incurvata, è fissa in posizione normale all'asse longitudinale del trattore; la curvatura causa il rotolamento in avanti del terreno (fig.32).

Fig.32



La lama dell'angledozer ha una forma tale da favorire il convogliamento laterale del materiale trasportato; può disporsi con angoli che possono giungere fino a 30 gradi.

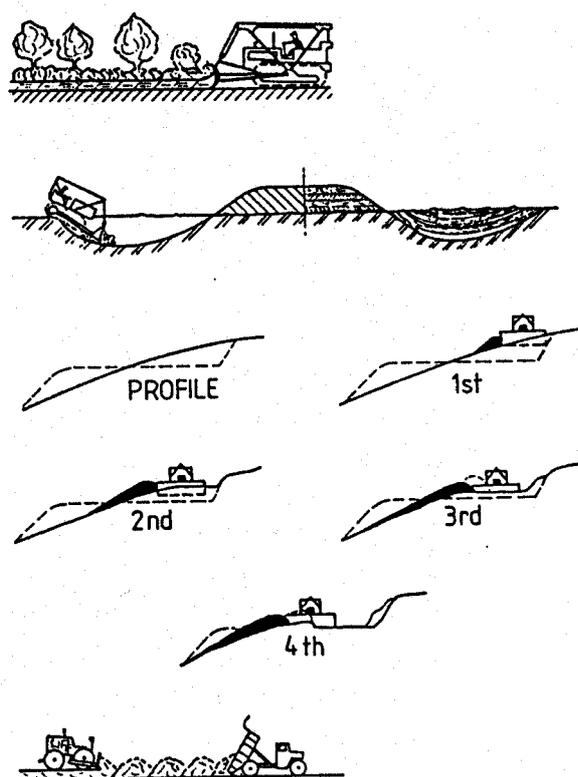
Il tiltdozer ha le stesse caratteristiche del bulldozer, differendo da questo per la possibilità di inclinare la lama nel piano verticale normale all'asse del trattore di un angolo che raggiunge al massimo il valore di 15 gradi, così da attaccare il terreno con una estremità e quindi realizzare scavi a V.

Il sistema di comando dei bracci portalama in tutti questi tipi è idraulico o meccanico; i tipi più recenti e più leggeri hanno quasi sempre comandi idraulici.

I bulldozer sono molto adoperati per l'apertura della traccia stradale, per il livellamento di terreni, per la formazione dei rilevati (fig.33).

L'angledozer è una macchina adatta per lo scavo e lo spostamento contemporaneo del terreno lateralmente alla direttrice del moto, particolarmente indicata nella formazione di sezioni a mezza costa.

Fig.33



Il tiltadozer è meno diffuso ma la sua applicazione è molto apprezzata per realizzare piani inclinati, per scavare fossi longitudinali, smuovere un terreno molto duro; esso permette di concentrare tutto lo sforzo che la macchina può compiere su una estremità della lama.

Gli apripista richiedono trattori potenti, dotati di ottima aderenza al suolo. Per questa ragione, di solito, le lame sono montate su trattori cingolati per le maggiori potenze. Per operazioni in terre sciolte vengono utilizzati anche trattori gommati di potenza media. Il notevole vantaggio dei trattori gommati è dato dalla maggiore velocità di lavoro ma soprattutto di ritorno a vuoto. Essi sono perciò convenienti per i lunghi percorsi.

3.2.1 Analisi del ciclo di lavoro

Il tempo di ciclo di un apripista che taglia e trasporta il suolo, per la tecnica di lavoro descritta in figura, può essere calcolato con l'espressione:

$$T_c = (L_c/V_1) + (L_p/V_2) + [(L_c+L_p)/V_3] + T_o + T_m + 2T_p$$

dove:

L_c = la lunghezza del tratto che si percorre in posizione di taglio (6-10 m)

L_p = la lunghezza del tratto di trasporto del terreno

V_1 = velocità durante lo scavo (0,4-0,5 m/sec.)

V_2 = velocità durante il trasporto (0,9-1,0 m/sec.)

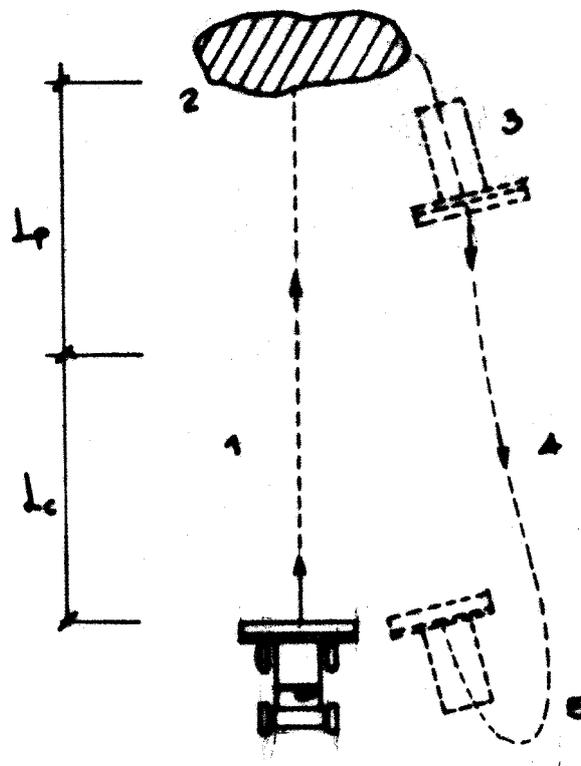
V_3 = velocità di ritorno a vuoto (1,1-2,2 m/sec.)

T_o = tempo necessario per abbassare la lama (1-2 sec.)

T_m = tempo per i cambi di velocità (4-5 sec.)

T_p = tempo per il cambio di direzione: alla fine del tratto di scavo e trasporto e prima di rimettersi in posizione di lavoro (1.0 sec; per ciascun cambio).

Fig.34



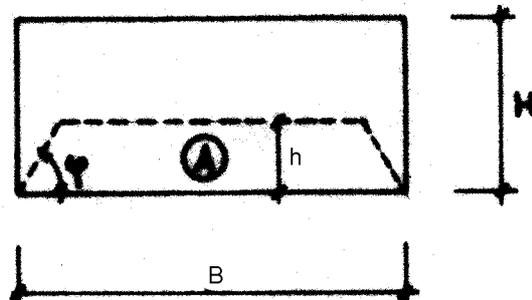
1) Fase di scavo; 2) Ammasso del terreno; 3) Cambio di direzione; 4) Ritorno a vuoto; 5) Cambio di direzione

3.2.1.1 Calcolo lunghezza del tratto in posizione di taglio e tempo necessario all'operazione

Lo spazio (L_c) necessario per accumulare sulla lama dell'apripista il volume massimo (V_f) di terreno, è funzione di numerosi fattori, molti dei quali possono essere determinati solo in seguito ad osservazioni di carattere sperimentale.

La capacità della lama V_f e la massima profondità di scavo dipendono dalle caratteristiche geometriche e sono fornite dalla casa costruttrice (fig.35).

Fig.35



B = lunghezza lama

H = altezza lama

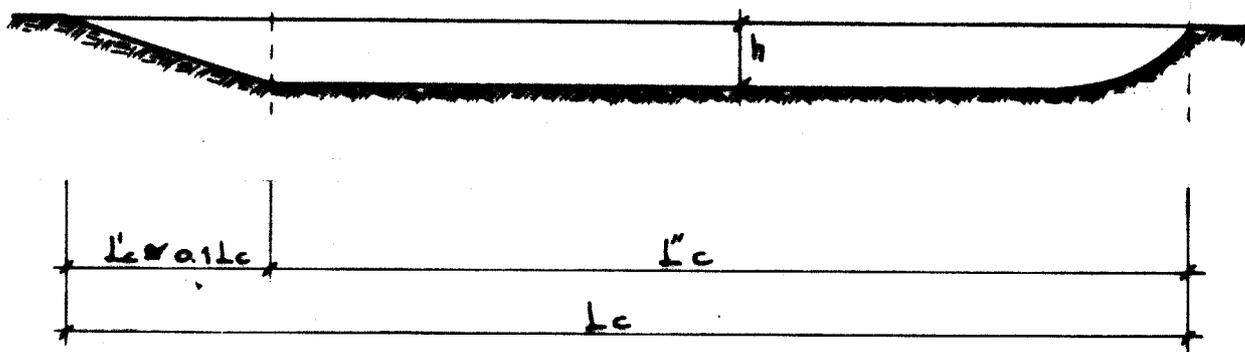
h = profondità di scavo

ϕ = angolo di attrito interno del terreno

A = area di impronta del terreno = $[B + (B - 2h/\text{tg}\phi)] \times h/2$

La lunghezza di scavo L_c è somma di due tratti: uno (L'_c) ad altezza variabile, necessario per portare la lama alla profondità desiderata, l'altro (L''_c) avente profondità pressochè costante (fig.36).

Fig.36



Noto V_f , espresso in mc sciolti, il volume di terreno V effettivamente rimosso è pari a:

$$V = V_f/s \text{ [mc banco]}$$

dove s = fattore di rigonfiamento del terreno (>1).

Trascurando il terreno accumulato nel tratto L'_c la lunghezza di scavo è pari a:

$$L_c = L'_c + L''_c = 0,1 \times L_c + V_f/A = (1/0,9) \times V_f/A$$

Detta v_1 la velocità di lavoro, il tempo necessario all'operazione di taglio è:

$$T_1 = L_c/v_1$$

La velocità di lavoro v_l è funzione delle caratteristiche geometriche della lama, dell' altezza di scavo, della densità del terreno e della potenza della macchina; per tali motivi andrebbe determinata riproducendo le reali condizioni di lavoro.

3.2.2 Calcolo della produzione oraria

La produttività di un apripista che taglia e trasporta il terreno, può essere determinata utilizzando la seguente espressione:

$$\text{Produzione teorica} \quad P_t = V_f \times K_{gr} \times r \times \frac{3600}{T_c} \times \frac{1}{s} \times T_c [\text{mc/h}]$$

$$\text{Produzione reale} \quad P = P_t \times f [\text{mc/h}]$$

dove:

V_f = capacità della lama (mc)

R = fattore di riempimento (<1)

s = fattore di rigonfiamento (>1)

f = efficienza sul lavoro (<1)

T_c = tempo di ciclo (sec.)

K_{gr} = coefficiente che tiene conto dell'effetto della pendenza del sito sulla produttività (fig.37)

Fig.37

VALUES OF COEFFICIENT k_{gr}			
Hoisting angle, deg	k_{gr}	Angle of inclination, deg	k_{gr}
0-5	1.00-0.67	0-5	1.00-1.33
5-10	0.67-0.50	5-10	1.33-1.94
10-15	0.50-0.40	10-15	1.94-2.25
		15-20	2.25-2.68

Nel caso l'apripista svolga funzioni di livellamento, la produzione teorica può essere determinata con l'espressione:

$$P_t = (B \times \text{sen } d \times 3600) / n(1/v + T_p) [\text{mc/h}]$$

dove:

n = il numero di passaggi (1-2)

T_p = il tempo necessario per il cambio di direzione (circa 10sec.)

v = velocità di lavoro (0,8+10 m/sec.)

l = lunghezza del tratto da livellare (m)

d = angolo di oscillazione della lama

Nella fig.38 è riportato un grafico per il calcolo della produzione oraria di un "bulldozer" in condizioni ottimali.

I valori della produzione vanno corretti in relazione alle reali condizioni di lavoro.

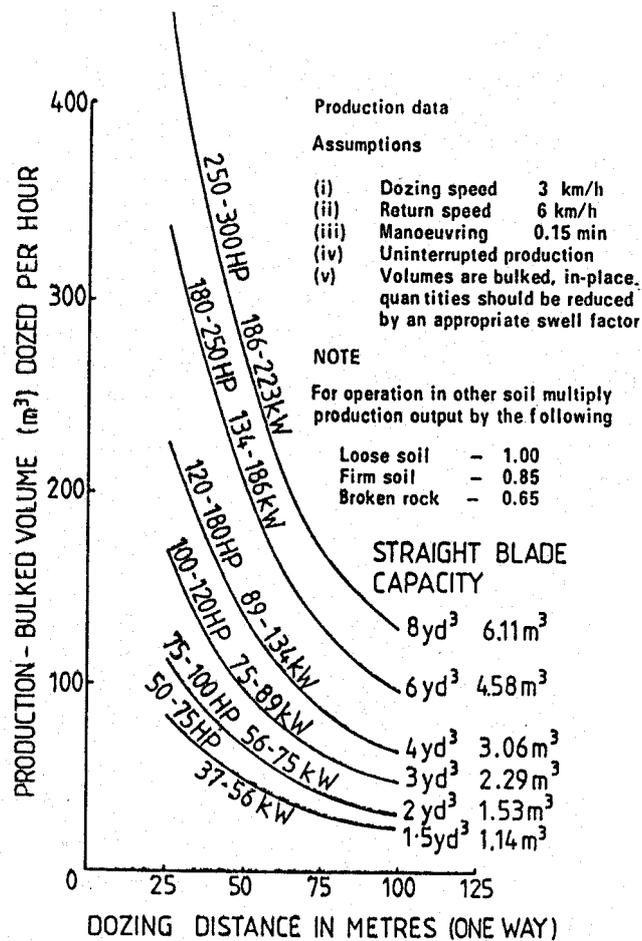
$$P = P_{ott} / s \times f \times \delta [\text{mc/h}]$$

dove:

P_{ott} = produzione ottimale letta sul grafico (mc/h)

- s = fattore di rigonfiamento (>1)
 f = efficienza sul lavoro (<1)
 δ = coefficiente correttivo per tempi di ciclo diversi da quelli ipotizzati nel grafico

Fig.38



N.B.: la determinazione del coeff. δ può essere effettuata calcolando il rapporto tra il tempo di ciclo ottimale ed il tempo di ciclo reale

3.3. Ruspe

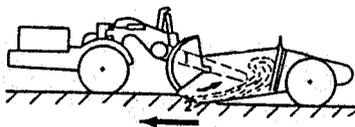
La ruspa (scraper) è una macchina, generalmente semovente, di uso prettamente stradale per la sua capacità di effettuare tutte le operazioni che caratterizzano un movimento di terra. La ruspa, infatti, scava, carica, trasporta, scarica, stende, ed in parte esegue anche la compattazione.

Il suo utilizzo è particolarmente indicato per distanze di trasporto variabili fra i 100 m ed i 3000 m.

Lo scavo del terreno ed il riempimento del cassone avvengono durante il movimento della macchina, ad opera della lama, che abbassata a comando, affonda nel terreno e, per la sua inclinazione, consente al materiale scavato di salire verso il cassone.

A riempimento avvenuto, la lama viene sollevata in modo che, funzionando da fondo del cassone, ne provochi la chiusura (fig.39).

Fig.39



La fase successiva è quella di trasporto fino alla zona stabilita per lo scarico. Quest'ultima operazione viene eseguita, sempre in movimento, abbassando la lama di quel tanto necessario per provocare un'apertura sul fondo del cassone ed azionando un eiettore che spinge il terreno verso l'apertura.

Gli elementi costitutivi di questa macchina sono due: il trattore e lo scraper. Il trattore è la parte anteriore del veicolo e comprende il motore, la trasmissione e la cabina di guida.

Lo scraper propriamente detto è la parte posteriore e comprende il cassone e la struttura di collegamento al trattore (collo di cigno).

3.3.1 Tipi di ruspa

La classificazione va fatta in base allo scraper, essendo il trattore ed il collo di cigno di caratteristiche analoghe per tutti i modelli.

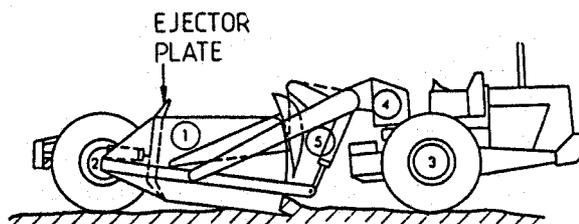
Si possono distinguere tre tipi fondamentali di scraper:

- standard
- autocaricante
- bimotore

Lo **scraper standard** (fig.40) è costituito dai seguenti elementi:

- Il cassone è la parte che viene abbassata fino a penetrare nel terreno per 15-30 cm e che quindi opera effettivamente lo scavo per strati successivi. Esso è dotato di un tagliente composto da elementi in acciaio indurito, adatto a resistere all'usura, generalmente sostituibile.
- Il grembiule costituisce la chiusura del cassone e serve a consentire il carico. La chiusura è ottenuta per gravità e per spinta verso il basso di cilindri idraulici.
- L'eiettore serve a scaricare completamente e rapidamente il cassone; esso spinge fuori il terreno ed alla fine dell'operazione torna in posizione di riposo.

Fig.40

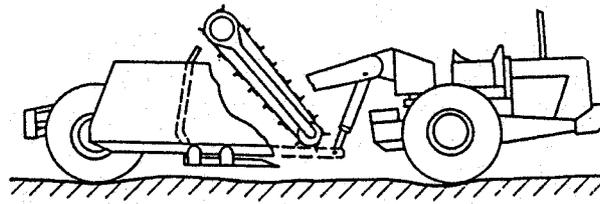


Lo **scraper autocaricante** (fig.41) si differenzia dallo standard principalmente per il sistema di carico costituito da un elevatore a palette associato al tagliante.

Lo scarico avviene facendo slittare indietro il fondo del cassone per circa la metà della sua lunghezza ed azionando l'eiettore in avanti fino al tagliante.

L'utilizzo di questa macchina è particolarmente indicato in terreni compatti.

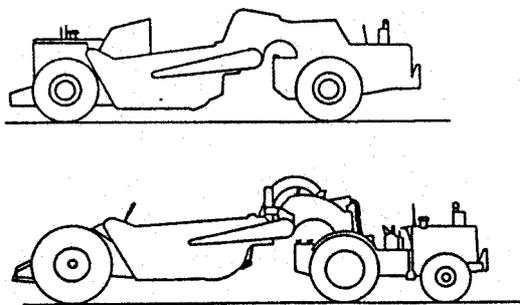
Fig.41



Lo **scraper bimotore** (fig.42), grazie alla potenza offerta da un secondo motore, permette di lavorare su piste in cattive condizioni, mantenendo una buona produzione.

Per quanto riguarda il sistema di carico e scarico, non vi sono differenze sostanziali con lo standard.

Fig.42



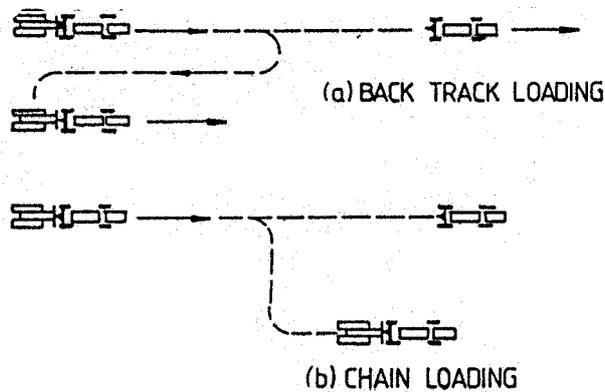
3.3.2 Metodi di lavoro

3.3.2.1 Metodo della spinta durante la fase di carico (push loading)

Questo metodo è utilizzato principalmente con lo scraper standard, dotato posteriormente di un blocco di spinta, sul quale contrasta un bulldozer attrezzato con una lama molto robusta.

Il bulldozer (pusher) esercita la sua azione di spinta solo durante la fase di carico (fig.43).

Fig.43



Generalmente un pusher può servire da tre a cinque scrapers che lavorano insieme. Per cui, sebbene sia possibile una elevata produttività, i costi elevati del sistema di lavoro, ne limitano l'impiego alle grandi opere.

Una regola generale per il calcolo degli "N" scrapers serviti da un pusher, è la seguente:

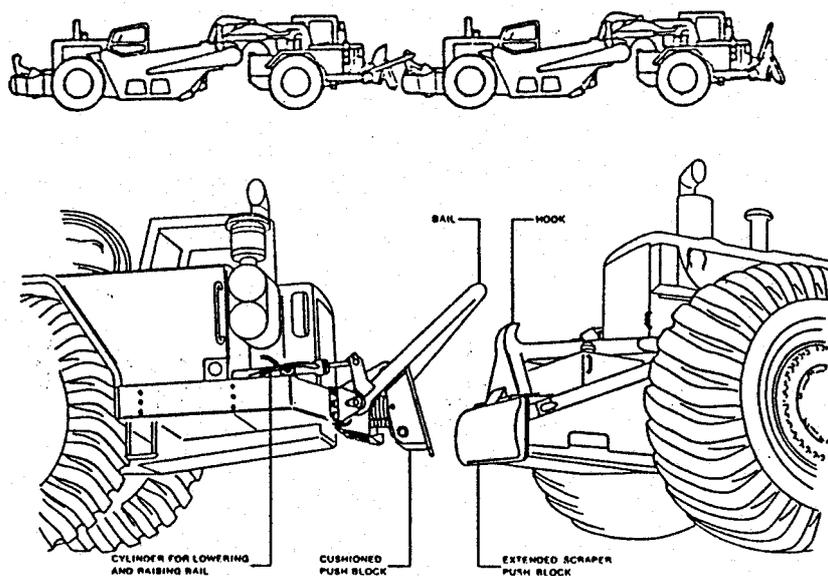
$$N = \text{tempo di ciclo dello scraper} / \text{tempo di ciclo del pusher}$$

3.3.2.2 Metodo del push-pull

Questo metodo prevede l'utilizzo di due scraper che si aiutano nelle operazioni di carico senza dover utilizzare un pusher.

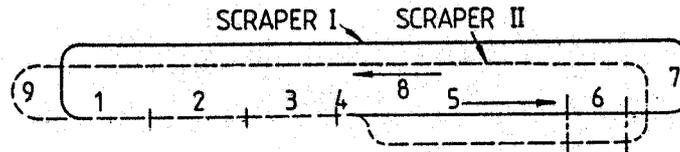
In presenza di terreni molto compatti il "push-pull" risulta molto efficace. Generalmente si utilizzano due scraper bimotores: lo scraper posteriore spinge quello anteriore durante la fase di carico. Completata questa fase, lo scraper anteriore tira quello posteriore fino al carico completo. Il sistema di collegamento dei due scraper è controllato dalla cabina del conducente attraverso comandi idraulici (fig.44).

Fig.44



In fig.45 è rappresentato il ciclo di lavorazione tipico della metodologia "push-pull". La potenza del bulldozer da utilizzare come pusher dipende dalla capacità dello scraper e dalla resistenza del terreno. A volte la potenza necessaria è tale da richiedere anche più di un pusher. Persino il metodo del push-pull, in terreni particolarmente duri, richiede l'ausilio di un pusher.

Fig.45



Nella tab.46 vengono fornite utili indicazioni per la scelta del bulldozer da accoppiare ad una ruspa di assegnate capacità e potenza.

Fig.46

Heaped capacity of scraper in ycd ³ (m ³)	Single-engine scraper hp (kW)		Double-engine scraper hp (kW) Push-pull*
	Standard scraper	Pusher dozer set	
20(15.3)	350(261) up to	500(373)	450(335)
30(22.9)	450(335) up to	900(670)	700(521)
40(30.6)	550(410) up to	1200(894)	950(707)
50(38.3)	550(410) up to	1200(894)	950(707)

* In the push-pull system two scraper units are used.

3.3.3 Analisi del ciclo di lavoro

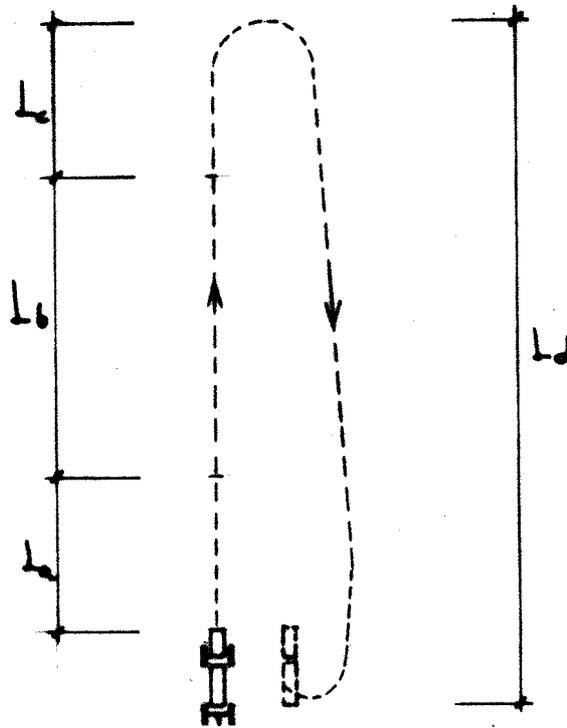
Il tempo di ciclo di una ruspa per la tecnica di lavoro descritta in figura può essere calcolato con la seguente relazione:

$$T_c = L_a/V_a + L_b/V_b + L_c/V_c + L_d/V_d + T_n + 2T_t \text{ (sec.)}$$

dove:

- L_a = lunghezza del percorso di carico (m)
- L_b = distanza di trasporto del terreno (m)
- L_c = lunghezza del tratto di scarico (m)
- L_d = distanza coperta dalla ruspa vuota (m)
- V_a = velocità di carico (m/sec.)
- V_b = velocità di trasporto sotto carico (m/sec.)
- V_c = velocità di scarico (m/sec.)
- V_d = velocità a vuoto (m/sec.)
- T_n = tempo necessario per il cambio di marcia (~ 6 sec.)
- T_t = tempo necessario alla ruspa per girare su se stessa (15+20 sec.)

Fig.47

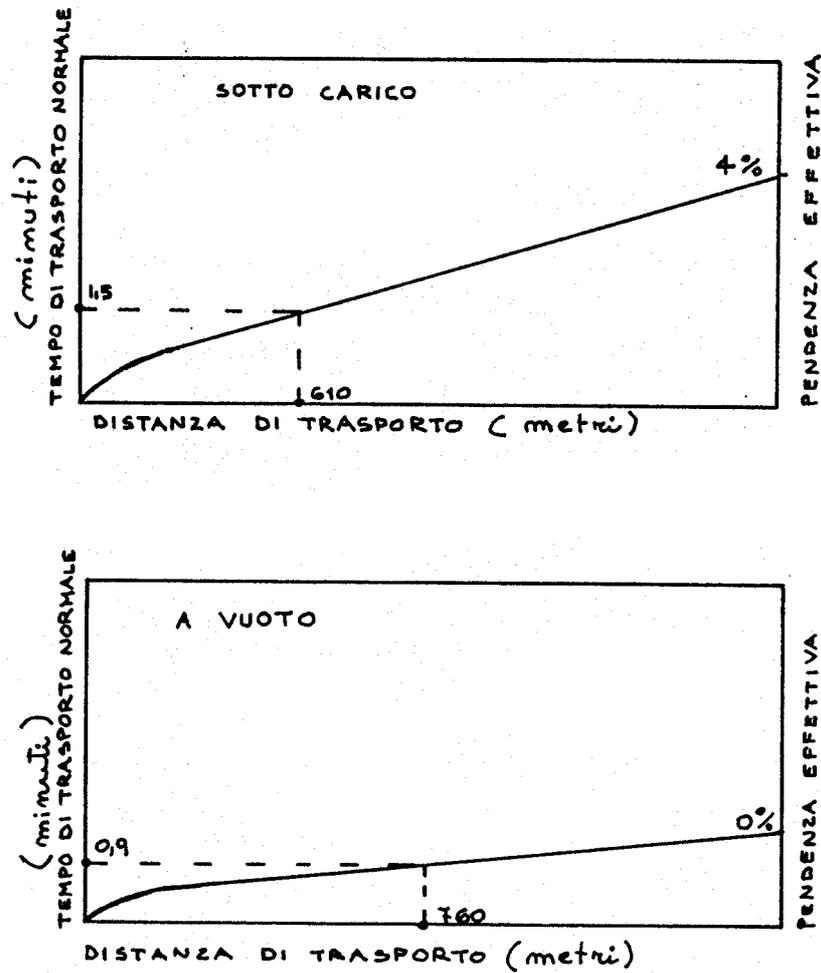


- 1) Fase di carico
- 2) Trasporto
- 3) Fase di scarico
- 4) Cambio di direzione
- 5) Ritorno a vuoto
- 6) Cambio di direzione

3.3.3.1 Calcolo dei tempi di carico, scarico, trasporto e ritorno a vuoto

I tempi di trasporto e ritorno possono essere determinati conoscendo le velocità dedotte dalle curve, caratteristiche di ogni macchina. Vi sono due grafici per ogni unità di trasporto: uno per il mezzo a pieno carico ed uno per il veicolo vuoto. I tempi vengono forniti per varie distanze ed in funzione di diverse pendenze (fig.48).

Fig.48



Per il calcolo dei tempi di carico e scarico è necessario conoscere la lunghezza dei tratti in cui si compiono queste operazioni:

$$L_a = l_1 + (V_f \times K_n \times K_c / B \times h_1 \times \alpha \times K_1) + 0,5 \text{ m}$$

$$L_c = (V_f \times K_n / B \times h_2 \times \alpha \times K_2) + l_1 = 3 + 10 \text{ m}$$

dove:

V_f = capacità a colmo del cassone

B = larghezza del cassone

h_1 = profondità di scavo

h_2 = apertura del cassone durante lo scarico (m)

l_1 = lunghezza totale della macchina (m)

α = 0,7 (coefficiente che tiene conto della non uniformità delle pezzature del terreno)

K_n = coefficiente di carico del cassone (fig.49)

K_1 = coefficiente di rigonfiamento del terreno (fig.50)

K_c = 1,2+ 1,5 (coeff.che tiene conto del terreno perso durante la formazione del prisma di terreno in corrispondenza del tagliante)

Fig.49

Soil	Without pusher	With pusher
Dry loose sand	0.5-0.7	0.8-1.0
Sandy loam and average loam	0.8-0.9	1.0-1.2
Heavy loam and clay	0.6-0.8	0.9-1.2

Fig.50

Soil	Moisture	Density of soil in natural layer, ton/m ³	k _a
Dry sand	—	1.5-1.6	1.0-1.2
Damp sand	12-15	1.6-1.7	1.1-1.2
Light sandy loam	7-10	1.5-1.7	1.1-1.2
Sandy loam and loam	4-6	1.6-1.8	1.2-1.4
Average loam	15-18	1.6-1.8	1.2-1.3
Dry dusty loam	8-12	1.6-1.8	1.3-1.4
Heavy loam	17-19	1.65-1.8	1.2-1.3
Dry clay	—	1.7-1.8	1.2-1.3

La determinazione della velocità di carico e scarico presenta notevoli difficoltà; infatti esse variano al variare del contenuto di terreno nel cassone. Inoltre, in fase di carico, la velocità dipende dalla compattezza del terreno e dalla potenza di un eventuale trattore di spinta.

Un valore orientativo delle velocità e dei tempi di carico e scarico viene di seguito fornito:

- velocità di carico = $(0,65+0,80) \times v_1$
- velocità di scarico = $v_1+(0,75 v_{max})$

dove:

- v_1 = velocità del trattore in prima marcia
- v_{max} = velocità del trattore in ultima marcia

- tempo di carico = 0,5+1,0 min
- tempo di scarico = 0,5+0,6 min

3.3.4 Calcolo della produzione oraria

- Produzione teorica $P_t = V_f \times K_n \times \frac{1}{s} \times \frac{3600}{T_c}$ [mc/h]
- Produzione reale $P = f \times P_t$ [mc/h]

dove:

- V_f = capacità a colmo del cassone [mc]
- K_n = coefficiente di carico (fig.49)
- s = coefficiente di rigonfiamento del terreno (fig.50)
- T_c = tempo di ciclo [sec.]
- f = efficienza sul lavoro (0,85-0,90)

In fig.51 è riportato un grafico per il calcolo della produzione oraria di una ruspa in condizioni ottimali. I valori della produzione vanno corretti in relazione alle reali condizioni di lavoro.

$$P = P_{\text{ott}} \times f \times \delta / s \text{ [mc/h]}$$

dove:

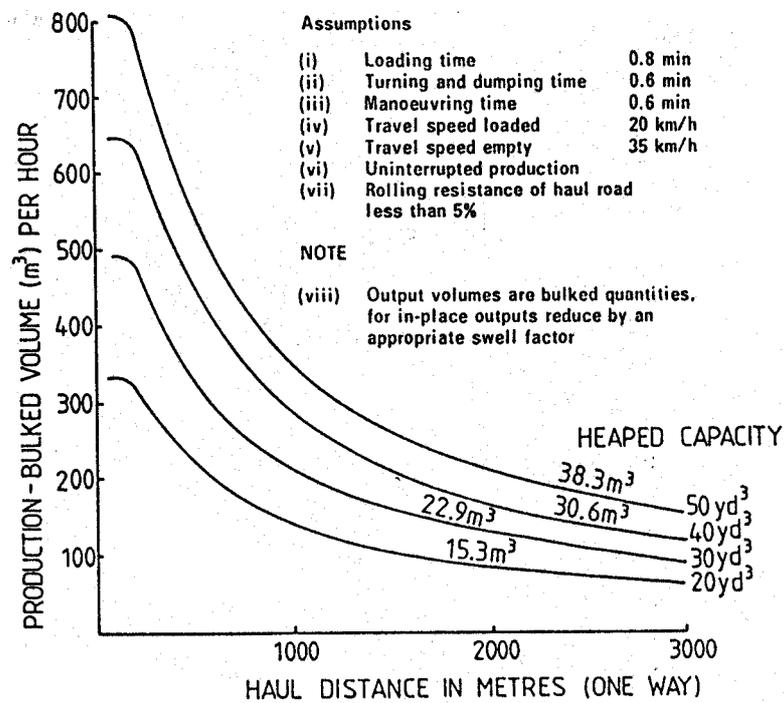
P_{ott} = produzione ottimale letta sul grafico [mc/h]

f = efficienza sul lavoro (0,85+0,90)

s = coeff.di rigonfiamento del terreno (fig.50)

δ = coeff.correttivo per tempi di ciclo diversi da quelli ipotizzati nel grafico

Fig.51



La resistenza totale al moto è funzione delle condizioni della pista (fig.52) e della pendenza: resistenza totale = resistenza al rotolamento + resistenza al pendio.

N.B: la determinazione del coeff.δ può essere effettuata calcolando il rapporto tra il tempo di ciclo ottimo ed il tempo di ciclo reale.

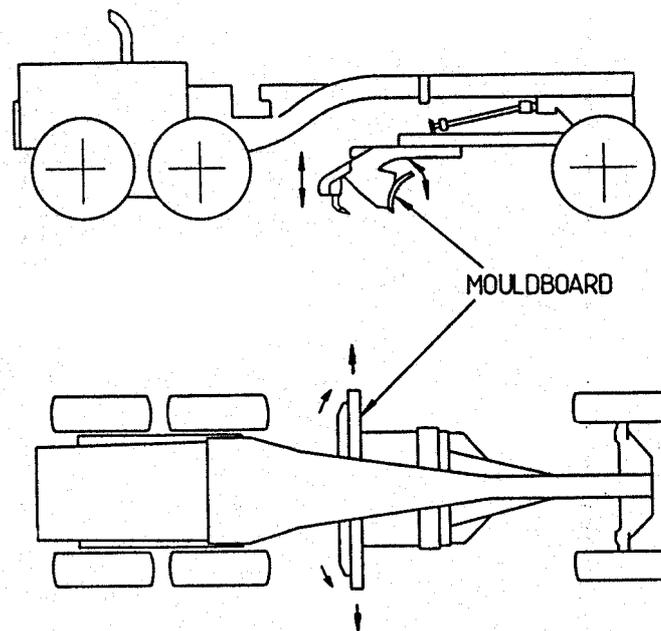
Fig.52

Ground surface condition	Rolling resistance (%)	
	Rubber tyres	Tracks
Concrete	1.5	0
Fine gravel/sand	2.0	0
Loose gravel	10.0	5
Loose sand	10.0	5
Soft mud	16.0	7
Deeply rutted loam	16.0	7
Loose loam	4.0	3
Firm loam	2.0	1
Packed snow	2.5	0

3.4. Livellatrici (motorgrader)

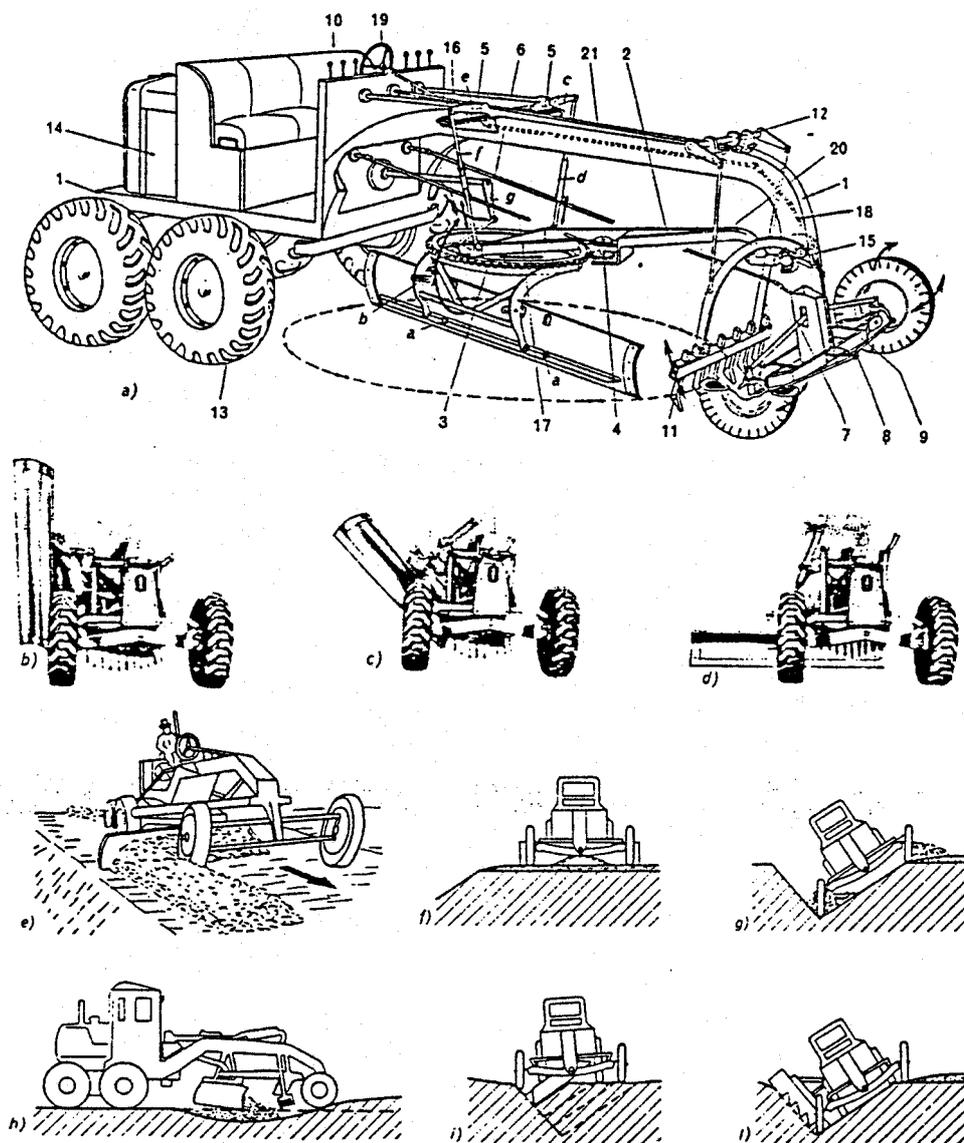
La livellatrice (figg.53-54) è una macchina che può essere impiegata in una vastissima gamma di applicazioni:

Fig.53



- asportazione dello strato superficiale di humus
- spostamento laterale del materiale mosso dalle scarificatrici
- ripresa del materiale precedentemente spostato, stesa e livellamento
- livellamento degli strati dopo il compattamento iniziale e prima di quello definitivo
- sistemazione di scarpate
- formazione di fossi

Fig.54



-Motolivellatrice (Motorgrader). Funzionamento, utilizzazione.

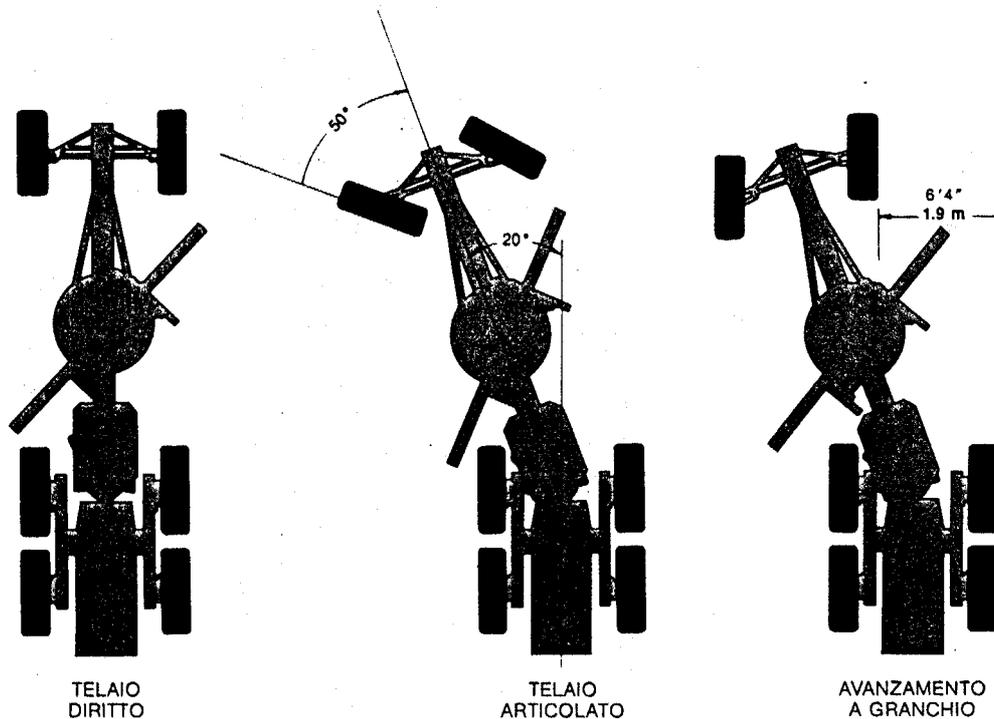
a) struttura di autolivellatore in funzione. Principali elementi della macchina: la lama applicata al gruppo 3 può rotare mediante il comando 4, spostarsi mediante il dispositivo 6, sollevarsi mediante il gruppo 5; le ruote anteriori possono inclinarsi trasversalmente mediante il dispositivo 7, mentre la direzione è comandata dal dispositivo 8. Lo scaricatore 11 può essere sollevato col dispositivo 12; b) autolivellatore con dispositivo per la ripresa del materiale e la formazione di mucchi laterali o carico dei veicoli con nastro trasportatore; (c), d) varie posizioni della lama (vomere) ugualmente possibili sia a destra che a sinistra; e), f) livellamento; g), h), i), l) scavo di fossi, sistemazione di scarpate e operazioni varie.

La livellatrice è costituita da un telaio a ponte, le cui estremità poggiano anteriormente su due ruote e posteriormente sul gruppo motore, a due o quattro ruote. Al centro del telaio è sistemata la lama che, rispetto alla direzione di marcia, può assumere qualunque posizione nel piano orizzontale e nei piani intermedi fra esso ed il piano verticale.

Il telaio può essere rigido o articolato; attualmente vi è una tendenza generale ad adottare il telaio articolato in quanto migliora notevolmente le prestazioni della macchina.

L' articolazione offre una grande versatilità di impiego, attraverso l'opportuna adozione di uno dei tre seguenti sistemi di sterzata (fig.55):

Fig.55



- a telaio diritto, usato soprattutto sulle passate lunghe e nei lavori di rifinitura;
- a telaio articolato, usato per ottenere un più alto grado di manovrabilità intorno ad ostacoli nelle aree ristrette e per livellare in curva ed in banchina;
- a passo di granchio, un sistema nel quale una delle ruote anteriori viaggia sulla stessa traiettoria di quelle posteriori, mentre la macchina procede a telaio articolato; questo metodo consente una maggiore efficienza operativa della lama, aumenta la visibilità e permette di eseguire lavori a mezza costa in condizioni di maggiore efficienza.

L'operatore può scegliere il sistema di sterzata in funzione delle condizioni di impiego della macchina.

Nei lavori di formazione delle cunette ed in terreni bagnati, le ruote accoppiate posteriori possono viaggiare sulla sponda fuori dello scavo, migliorando così la trazione e l'efficienza della lama.

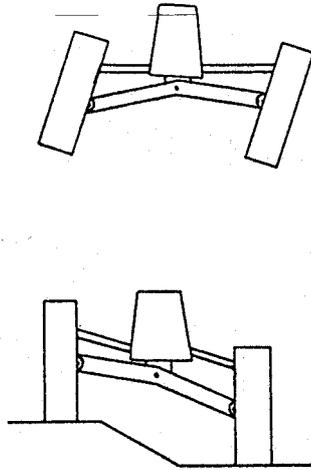
Nel riempimento di scavi, la livellatrice articolata può, con una sola passata, spingere il materiale nello scavo e compattarlo con le ruote posteriori.

Nei lavori a mezza costa il metodo a granchio consente all'operatore di lavorare in sicurezza ed ottenere quindi migliori produzioni.

L'articolazione, ancora, permette di profilare scarpate formate da materiali piuttosto resistenti, ottenendo altre produzioni dovute al fatto che le ruote traenti possono sempre procedere su un piano che offre maggiore aderenza.

L'assale anteriore di una livellatrice articolata permette l'avanzamento delle ruote su piani diversi e la loro inclinazione rispetto alla verticale (fig.56), assicurando così alle ruote sterzanti la massima aderenza anche quando il terreno è molto accidentato.

Fig.56



3.4.1 Analisi del ciclo di lavoro e calcolo della produzione oraria

La produttività di una livellatrice dipende da vari parametri: le dimensioni della lama, la potenza del motore, la forza di trazione, le condizioni operative. La produzione oraria, a seconda del tipo di lavoro, viene espressa in termini di:

- volume di terreno tagliato e posizionato nell'unità di tempo [mc/h];
- chilometri di pista profilata nella unità di tempo [Km/h];
- metri quadrati di superficie livellata nell'unità di tempo [mq/h].

Un metodo pratico per il calcolo della produttività è quello esposto di seguito. Esso permette, con l'ausilio di pochi dati, di valutare il tempo richiesto per l'esecuzione di un certo lavoro:

$$T = \frac{D}{V} \times n \times f \text{ [h]}$$

dove:

- n = numero di passate
- D = distanza [Km]
- V = velocità media [Km/h]
- f = efficienza sul lavoro (0,8-0,9)

La produzione oraria può calcolarsi mediante la seguente formula:

$$P = f \frac{A \times V}{n} \text{ [mc/h]}$$

dove:

- A = area della sezione trasversale di lavoro (larghezza della lama x profondità di lavoro) [mq]

4. RIPPERS (SCARIFICATORI)

I rippers sono costituiti da uno o più denti montati nella parte posteriore di un trattore (generalmente un apripista), ed azionati da comandi idraulici.

Questi attrezzi vengono usati nelle fasi preliminari alle operazioni di sbancamento per ridurre i terreni compatti, ghiacciati o le superfici rocciose, in pezzature di misura conveniente per essere caricati e trasportati.

Essi quindi preparano il terreno all'azione di ruspe, apripista, pale cariatrici, aumentandone la produttività.

4.1. Scelta dell'attrezzatura di rippaggio

Una efficace operazione di rippaggio richiede:

- penetrazione nel terreno di un robusto dente di acciaio
- un trattore con potenza sufficiente per permettere alla punta del dente di avanzare nel materiale
- un trattore pesante per generare una sufficiente forza di trazione
- un trattore robusto per assorbire le elevate sollecitazioni indotte durante il rippaggio.

I rippers possono essere suddivisi in tre tipi fondamentali:

Tipo a cerniera

Il leverismo che porta la barra ed il dente è fissato alla parte posteriore del trattore (fig.57).

Fig.57



L'arco che risulta dal movimento di sollevamento ed abbassamento causa una variabilità degli angoli di penetrazione di oltre 30 gradi. L'angolo varia con il variare della profondità di scarificazione; in molti materiali questo crea delle difficoltà di penetrazione. Il ripper a cerniera utilizza una barra con uno o più portadenti, ognuno dei quali permette più di 5 posizioni del dente per adattarne la profondità e l'inclinazione alle varie condizioni di lavoro. Inoltre, alcuni portadenti permettono delle oscillazioni laterali di più di 30 gradi. Prove pratiche hanno dimostrato che i denti fissi danno migliori prestazioni nella maggior parte dei casi rispetto ai denti oscillanti: la punta non può girare intorno alle rocce, ma è obbligata ad andare avanti frantumandole.

Tipo a parallelogramma

Il leverismo che porta la barra ed il dente mantiene sempre lo stesso angolo di penetrazione a qualsiasi profondità di scarificazione (fig.57). Il ripper ad angolazioni costanti ha caratteristiche eccellenti di penetrazione nella maggior parte dei materiali.

Tipo a parallelogramma regolabile

Riunisce in sé sia i vantaggi del tipo a cerniera che quelli del tipo a parallelogramma. Ha la possibilità di variare l'angolazione della punta per ottenere la posizione ottimale di penetrazione (fig.58). La regolazione può avvenire anche durante il movimento (fig.59).

Fig.58

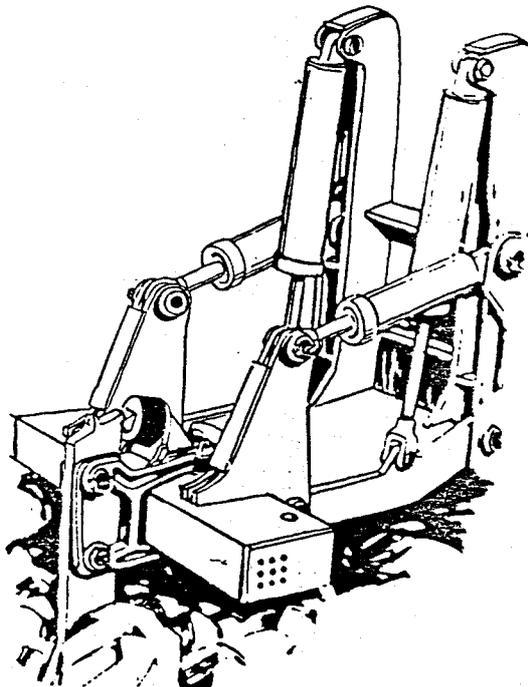
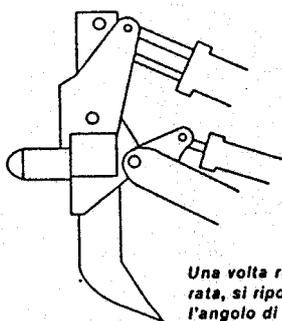
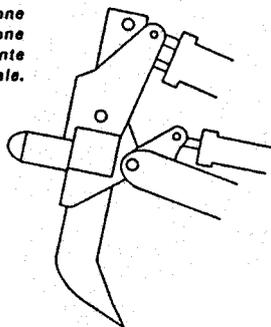
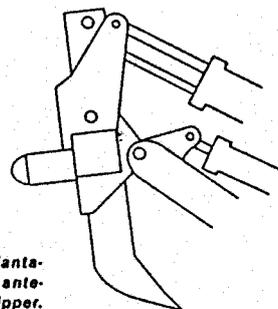


Fig.59

I migliori risultati si ottengono con un'angolazione aggressiva della punta per una buona penetrazione del materiale. Ciò si ottiene posizionando il dente oltre la verticale.



Una volta raggiunta la profondità di scavo desiderata, si riporta il dente in verticale per poi cercare l'angolo di lavoro ottimale.

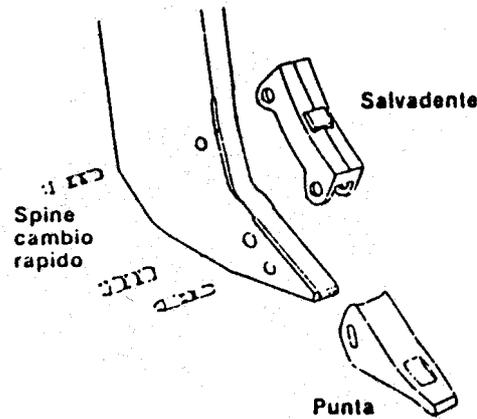


Per rimuovere e sollevare materiali o rocce piantati si porta il dente alla massima inclinazione anteriore e si richiama completamente il ripper.

In un ripper sono basilari la facilità di penetrazione e la capacità di mantenere la profondità di rippaggio. Quando il materiale è di difficile penetrazione, si sfrutta parte del peso del trattore per spingere e mantenere il dente nel terreno.

Elementi fondamentali del ripper sono i denti e le punte (fig.60).

Fig.60



Per terreni molto compatti e rocce stratificate il dente dritto (fig.61) dà buoni risultati. Il dente curvo (fig.61) è più indicato per rocce fratturate.

Fig.61



Le punte si possono suddividere in corte, medie, lunghe. Il tipo corto serve dove la penetrazione è difficile e l'impatto può essere forte; il tipo lungo per impieghi in materiali molto abrasivi, ove la possibilità di rottura non è il problema principale. Il tipo intermedio è raccomandato per applicazioni in cui il materiale abrasivo è duro abbastanza da rompere la punta lunga.

4.2. Materiali che si possono rippare

Le caratteristiche che favoriscono il rippaggio possono essere riassunte come segue:

- 1) fratture, faglie e piani di minore resistenza di qualunque genere
- 2) alterazioni dovute a variazioni di temperatura ed umidità
- 3) fragilità e natura cristallina
- 4) grandi dimensioni granulometriche
- 5) alto grado di stratificazione o sfaldatura
- 6) formazioni argillose, rocciose e di scisti permeate di umidità

7) bassa resistenza alla compressione

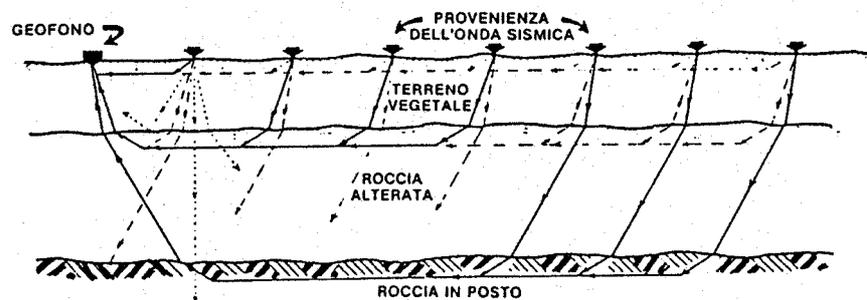
Generalmente per capire se un determinato materiale è rippabile o meno, ci si basa su alcuni elementi facilmente osservabili.

Stratificazioni, faglie e fratture visibili possono indicare la rippabilità. Una roccia che si frantumi se gettata contro una superficie dura può essere rippabile; se rimbalza provocando un suono squillante e non di frattura, probabilmente non è rippabile.

Queste indicazioni costituiscono una parte del quadro complessivo.

Informazioni dettagliate sulla possibilità di scarificazione di una determinata formazione rocciosa, possono essere ricavate attraverso la prova del sismografo a rifrazione (fig.62).

Fig.62



Il sismografo indica grado di compattezza, durezza della roccia, stratificazione, grado di fratturazione ed il tipo di decomposizione o alterazione.

Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che un'onda sismica impiega per attraversare i diversi strati del sottosuolo.

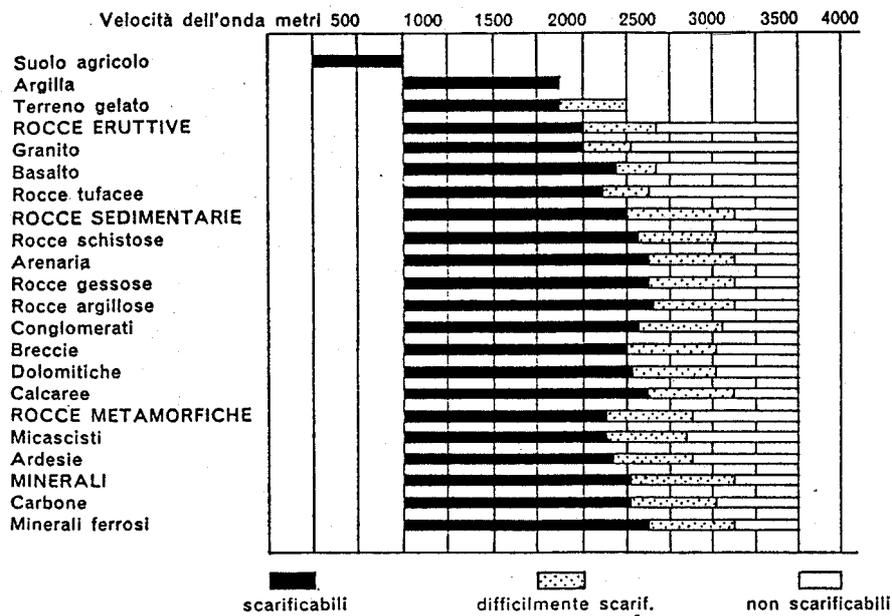
Misurando la velocità dell'onda sismica nei vari strati, si può determinare il grado di compattezza, quale metodo e quale attrezzatura siano più indicati per rendere più sciolto il materiale: esplosivi o ripper (fig.63).

4.3. Analisi del ciclo di lavoro e calcolo della produzione oraria

Le tecniche di lavoro durante operazioni di scarificazione hanno alcuni elementi caratteristici:

- La potenza minima richiesta al trattore è 150 hp (112 KW), fino ad arrivare a 400 hp (300 KW) o più in condizioni di lavoro particolarmente difficili.
- Le operazioni di scavo avvengono ad una velocità di 1-2 Km/h in prima marcia, al fine di ottenere condizioni di lavoro ottimali.

Fig.63



- Quando le condizioni del terreno lo permettono, è auspicabile scarificare con tre denti e portare la velocità alla minima possibile al fine di ridurre il logorio dei denti e del trattore. La scelta del numero dei denti da utilizzare è spesso causa di errori nella lavorazione; quando si opera con materiali che tendono a rompersi in grossi pezzi, è in genere sufficiente un solo dente.
- I denti delle macchine più moderne possono arrivare ad una profondità di scavo di circa un metro, nei casi in cui le caratteristiche del terreno lo permettono.
- La distanza tra le passate del trattore è influenzata dal tipo di terreno:
 - materiale compatto 1,0+ 1,5 m (passo)
 - materiale leggermente fratturato 2,0+2,5 m (passo)

Esistono tre metodi per stimare la produzione di un ripper. Il migliore è quello di segnare sul terreno la superficie interessata prima della scarificazione ed annotare il tempo effettivo impiegato per effettuare tale operazione. Dopo aver rimosso il materiale, l'area viene rilevata nuovamente per determinare il volume di roccia rimossa.

Il volume diviso il tempo impiegato nella scarificazione, dà la produzione in metri cubi banco/h.

Un altro metodo è quello di registrare il tempo trascorso nella scarificazione e contare i carichi del mezzo di trasporto per un certo periodo di tempo. La stima, o meglio, la pesatura di ogni carico eseguito, fornirà utili dati che possono essere convertiti in metri cubi banco/h.

Il metodo meno accurato, ma usato più spesso, consiste nel valutare i tempi delle passate del ripper su una distanza misurata in precedenza. Con un numero di passate cronometrate si può calcolare la velocità media di viaggio in Km/h (1 +2 Km/h).

Nel calcolo del tempo di ciclo, bisogna includere i tempi di sterzata e manovra e per la valutazione della produzione occorre misurare la profondità media di penetrazione e la distanza tra le passate. L'esperienza ha dimostrato che i risultati ottenuti con tale metodo sono maggiori del 15-30% circa di quelli ottenuti con il metodo più accurato del rilevamento in sezione.

4.3.1 *Calcolo della produzione oraria con la misurazione delle distanze*

- distanza tra le passate = d (1,0+2,5 m)
- velocità media di lavoro = v (0,28+0,55 m/sec.)
- lunghezza passata = L [m]
- tempo di sterzata e manovra per passata = tm (= 15 sec.)
- penetrazione media = h (fino a 1,0 m)

$$T_c \text{ (tempo di ciclo)} = Lv/v + tm \text{ [sec.]}$$

$$V \text{ (volume rippato)} = L \times d \times h \text{ [mc banco]}$$

$$\text{Produzione teorica} = P_t = V \times 36000/T_c \text{ [mc banco/h]}$$

$$\text{Produzione reale} = P = P_t \times f \text{ [mc banco/h]}$$

dove f = efficienza sul lavoro (<1)

Dai grafici riportati di seguito è possibile ottenere un'indicazione di massima della produzione oraria di un ripper, in funzione della potenza del trattore e delle caratteristiche del terreno (fig.64) e della velocità di propagazione dell'onda sismica in una prova con sismografo a rifrazione (fig.65).

Fig.64

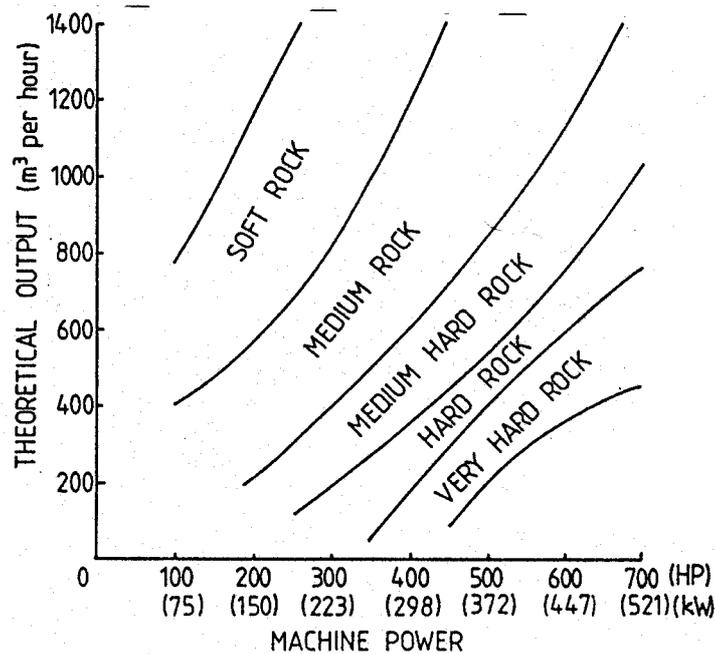
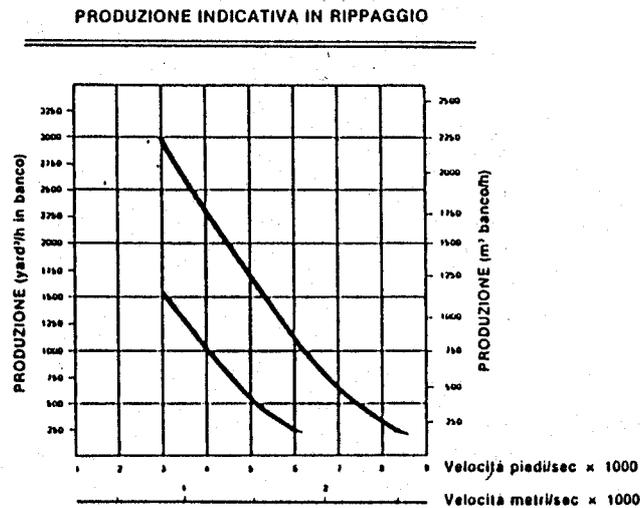


Fig.65



5. MACCHINE COMPATTATRICI

Il costipamento è l'azione che porta ad aumentare la densità del terreno, comprimendo ed avvicinando tra loro le particelle dei materiali con espulsione di una parte dell'acqua e del gas che riempiono i vuoti.

L'energia spesa per questo processo varia secondo il tipo di materiale, la tecnica usata, lo spessore sottoposto a costipamento, il contenuto di acqua.

Lo scopo del costipamento è l'aumento della resistenza meccanica del materiale addensato. La misura di questa resistenza viene espressa in termini di peso per unità di volume. Essa è generalmente misurata in Kg/mc, Kg/lit, t/mc di materiale umido (densità umida) o asciutto (densità secca).

In cantiere il costipamento viene effettuato a mezzo di macchine semoventi o trainate che, in funzione delle loro caratteristiche, sottopongono il materiale da compattare a quattro diverse azioni:

- pressione
- urto
- vibrazione
- manipolazione

I mezzi di costipamento compiono il proprio lavoro esplicando un'azione statica (dovuta essenzialmente al peso proprio della macchina) ed una azione dinamica (di urto o vibrazione).

Secondo se prevale l'una o l'altra di queste due azioni essi si dividono in due grandi classi: mezzi statici e mezzi dinamici.

5.1. Mezzi statici

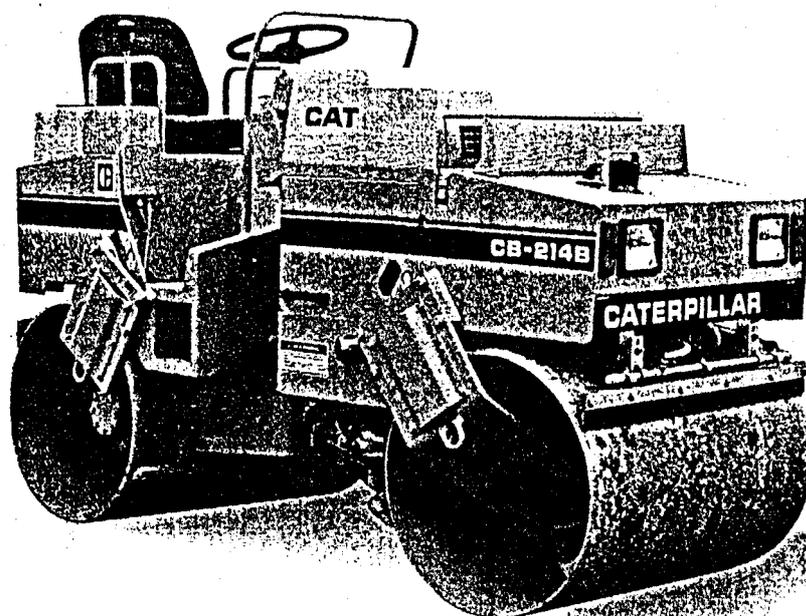
5.1.1 *Rulli con ruote metalliche*

Rulli tandem

Sono macchine semoventi dotate di due o tre tamburi in linea; quasi sempre i tamburi possono essere zavorrati per aumentarne il peso. A parità di peso i rulli tandem esercitano sul terreno una

pressione unitaria inferiore a quella esercitata dai rulli a 3 ruote a causa della più estesa superficie di contatto dei tamburi (fig.66).

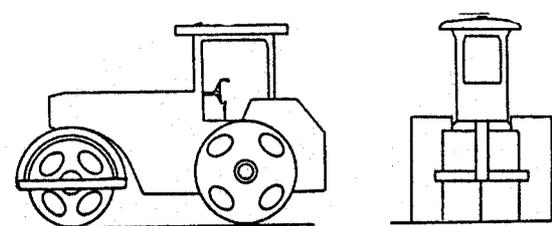
Fig.66



Rulli a 3 ruote

Possiedono due ruote metalliche motrici sull'asse posteriore ed un tamburo sterzante sull'asse anteriore. Tanto le ruote che il tamburo possono essere zavorrati in modo da aumentare il peso, ma anche per compensare la distribuzione del peso sui due assi, in funzione della pendenza longitudinale dello strato (fig.67).

Fig.67



Rulli trainati

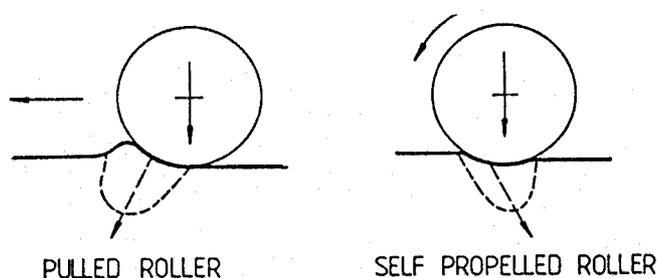
Sono costituiti da un unico tamburo metallico che può essere zavorrato per aumentarne il peso (fig.68).

Fig.68



L'azione del rullo causa la formazione di un'onda nella direzione del movimento; questo effetto, tipico dei mezzi trainati, non si ritrova nell'azione costipante dei rulli semoventi (fig.69).

Fig.69



La velocità di traslazione di queste macchine è modesta. Essi sono efficaci soprattutto su materiali di natura grossolana e su pietrame, dove l'effetto di frantumazione, dovuto all'elevato peso statico, ottiene i migliori risultati.

L'azione addensante di queste macchine su materiali plastico-granulari è molto ridotta, a causa della crosta provocata in superficie dai primi passaggi del rullo che impedisce l'effetto in profondità anche su spessori limitati.

I rulli statici di questo tipo vengono impiegati soprattutto per "lisciare" e "chiudere" lo strato di materiale, dopo il lavoro di altri tipi di rulli quali quelli gommati e quelli con tamburi a "zoccoli". L'azione costipante, a causa della ridotta superficie di contatto, è intensa e superficiale.

5.1.2 Rulli con tamburi a zoccoli

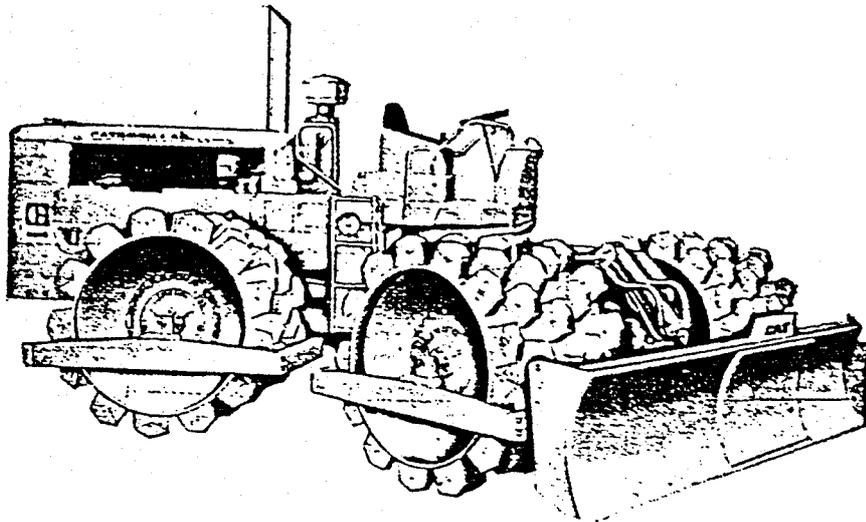
Sono macchine trainate o semoventi (fig. 70), ideali per l'addensamento dei materiali ad elevata coesione (argilla e limi argillosi), grazie alle azioni di impatto e mescolamento.

Gli zoccoli sulle generatrici del tamburo a file sfalsate hanno forme diverse e lunghezza variabile da 15 a 25 cm; il tamburo può essere zavorrato per aumentarne il peso.

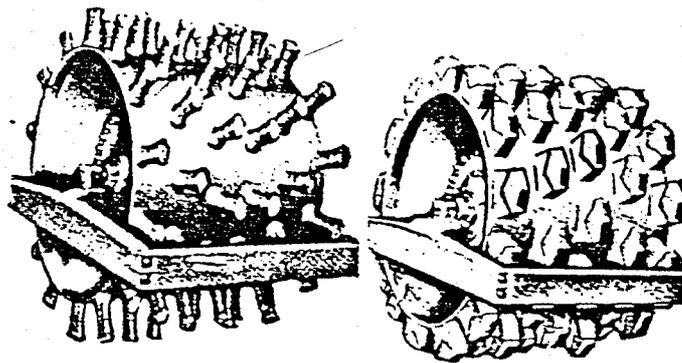
Il peso della macchina viene trasmesso al terreno dagli zoccoli che, avendo superfici ridotte, esplicano pressioni unitarie molto elevate.

Lo svantaggio di questo tipo di tamburi è la ridotta profondità di addensamento limitata alla lunghezza degli zoccoli e la mancanza di effetto addensante sui materiali granulari.

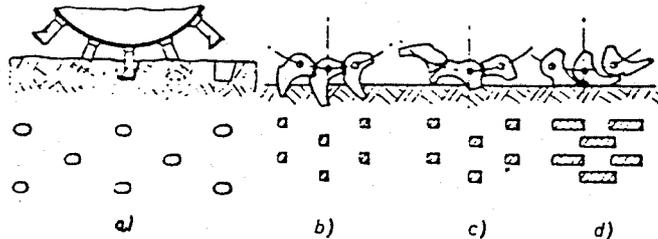
Fig.70



A)



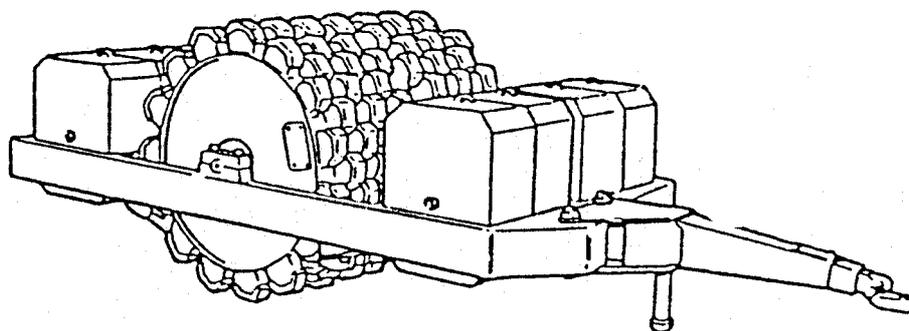
B)



— A) autocompattore a rulli dentati;
B) rulli a punte e zoccoli: a) zoccoli; b) punte; c) quadrati; d) rettangoli.

Questi problemi sono stati in parte superati con la diffusione di compattatori semoventi o trainati dotati di tamburo con piedi "tamping" (fig.71). Tali macchine, agendo sui materiali con sollecitazioni di mescolamento, urto, peso statico, hanno campi di applicazione più vasti e buona azione in profondità.

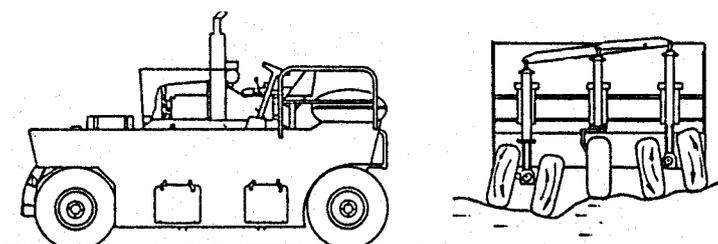
Fig.71



5.1.3 Rulli gommati

Queste macchine (fig.72) agiscono sul terreno mediante il peso statico e la manipolazione. Possono essere di tipo semovente o trainato, con pneumatici di piccole o grandi dimensioni.

Fig.72



Rulli con pneumatici di piccole dimensioni

Possiedono in genere due assi, disposti in tandem con 4 o 9 ruote su ognuno. Le ruote sono disposte in modo che le posteriori passino sugli spazi non rullati da quelle anteriori. Il telaio può essere zavorrato.

Le ruote sono montate su sospensioni indipendenti, così da consentire ad ognuna di seguire le ondulazioni della superficie.

Queste macchine ottengono i risultati migliori su materiali molto plastici aventi spessore inferiore ai 10+15 cm.

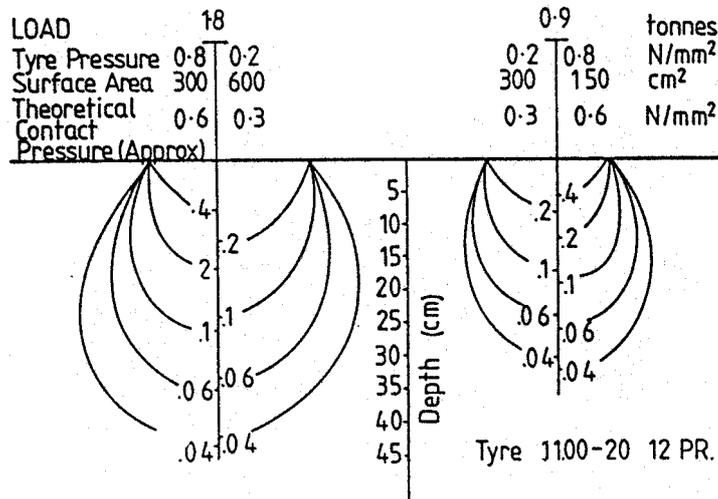
Rulli con pneumatici di grandi dimensioni

Sono macchine sempre di tipo trainato e pesano in genere dalle 15 alle 50 tonnellate; hanno pneumatici di grande diametro e notevole sezione.

L'azione costipante, esercitata su profondità maggiori rispetto ai precedenti, dà buoni risultati su quasi tutti i tipi di materiali. Il costo per il loro impiego è notevole perchè richiede, oltre ad un mezzo di traino di adeguata potenza, numerose passate per ottenere la completa copertura degli spazi tra le ruote.

Le capacità costipanti dei rulli gommati sono funzione di alcuni parametri: peso totale della macchina, carico per ruota e pressione di gonfiaggio dei pneumatici. I costruttori in genere forniscono i diagrammi della distribuzione delle pressioni (bulbi di tensione) al variare della profondità, per assegnate caratteristiche della macchina (fig.73).

Fig.73

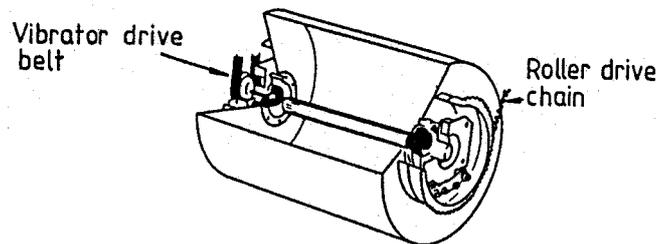


5.2. Mezzi dinamici

5.2.1 *Rulli vibranti*

Di tipo semovente o trainato, sono composti da un telaio isolato dal tamburo metallico vibrante (o dai tamburi) mediante tamponi in gomma (fig.74). Le vibrazioni sono generate dalla rotazione di una massa eccentrica posta all'interno del tamburo.

Fig.74



La velocità di rotazione di questa massa determina la frequenza; il peso e la forma della massa, oltre al peso del tamburo, determinano la ampiezza di vibrazione.

Le azioni che caratterizzano un rullo vibrante sono le seguenti:

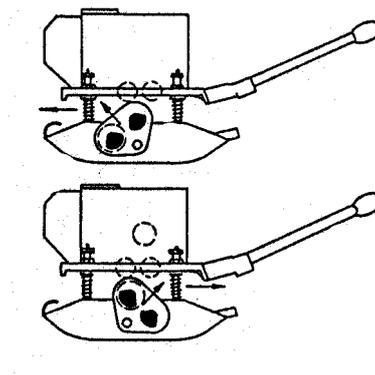
- **Peso statico:** peso del telaio + peso dei tamburi

- **Forza dinamica:** risultante della forza centrifuga prodotta dalla rotazione delle masse eccentriche
- **Forza totale applicata o impatto:** somma del peso statico e della forza dinamica
- **Ampiezza:** movimento verticale del tamburo per ogni rivoluzione completa del dispositivo vibrante
- **Frequenza:** numero di rivoluzioni del dispositivo vibrante nell'unità di tempo
- **Risonanza:** valore nella gamma di frequenze in cui la frequenza naturale del terreno coincide con quella del tamburo vibrante.
La frequenza di risonanza varia da 1500 a 2400 cicli/minuto in funzione del tipo di terreno e del grado di addensamento del materiale.
Al punto di risonanza la vibrazione del suolo si somma all'ampiezza ed alla forza d'urto del compattatore.
Numerose prove confermano che i risultati migliori si ottengono quando la frequenza operativa del tamburo viene mantenuta a valori uguali o superiori al valore di risonanza del terreno.
- **Peso equivalente:** grandezza di confronto tra il rendimento dei rulli statici e quello dei rulli dinamici (ad es. un rullo vibrante da 4 t ha un effetto compattante paragonabile a quello di un rullo statico da 20 t).

5.2.2 Piastre vibranti

Due masse eccentriche ruotano non in fase in direzioni opposte (fig.75). La componente verticale delle forze centrifughe esercita l'azione costipante sul terreno, la componente orizzontale favorisce lo spostamento della piastra.

Fig.75



Questa attrezzatura è usata per piccole superfici in corrispondenza delle zone non accessibili ai rulli.

5.3. Scelta della macchina in funzione del materiale

Materiali incoerenti

In presenza di sabbie, ghiaia, misti alluvionali, i risultati migliori si ottengono con l'impiego di rulli vibranti dotati di tamburo liscio.

Le macchine più diffuse sono i rulli vibranti a telaio rigido o articolato. Esse sono in grado di esercitare sul terreno una "forza compattante lineare" (forza totale applicata sul tamburo/larghezza del tamburo) da 100 a 130 Kg/m.

A titolo indicativo si riportano le produzioni orarie effettive di alcune macchine, per velocità di 4,5 Km/h e per compattazione avvenuta con 6 passate su strati di diverso spessore (misurato dopo la compattazione):

spessore (cm)	40-50	60-70	80-100
produzione (mc/h)	440-545	710-830	1170-1460

Materiali semicoesivi

In presenza di misti di sabbia, limo, argilla, le superfici di contatto e le forze di coesione tra le particelle sono notevoli. Per ottenere una efficace azione costipante si impiegano:

- rulli statici trainati o semoventi con tamburi a "piedi di montone" o a "tronco di cono"
- rulli statici gommati trainati o semoventi che esercitano sul terreno oltre all'azione statica anche un'azione di manipolazione
- rulli vibranti dotati di tamburi a "piedi di montone" o a "tronco di cono" che danno i migliori risultati grazie alle elevate pressioni di contatto esercitate dall'azione combinata dei "piedi" e della forza di impatto del tamburo vibrante.

A titolo indicativo le produzioni orarie di queste macchine per velocità di 4,5 Km/h e con 8 passate, sono:

spessore (cm)	40-50	60-70	80-100
produzione (mc/h)	330-410	530-620	875-1100

Materiali rocciosi

In presenza di roccia abbattuta da mine si impiegano rulli statici con tamburo a "piedi tamping" (fig.71) oppure a "griglia" (fig.76) trainati o semoventi.

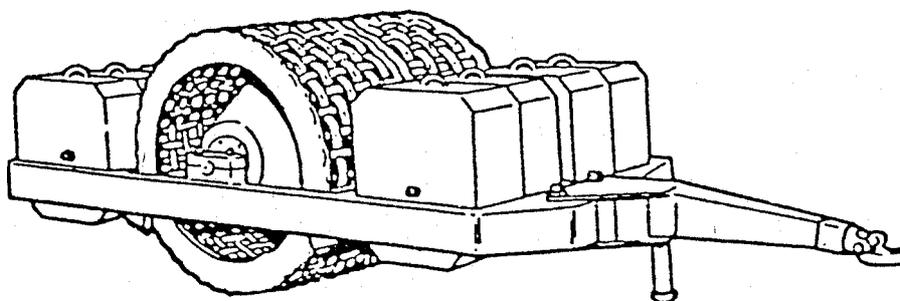


Fig.76

Un compendio delle macchine compattatrici e del loro campo di applicazione è riportato nella fig.77 e nella tab.78.

Fig.77

Campi di Applicazione dei Rulli su Rilevato
in funzione del tipo di materiale

	Argilla 100%	Sabbia 100%	Roccia	Azione Compattante
<u>Rulli Statici</u>				
Con tamburi metallici	T. a zoccoli	T. liscio	T. a griglia	Peso Statico Peso Statico + Manipolaz. Peso Statico
Con pneumatici		di piccolo ϕ Semov. di grande ϕ - Trainati		Peso Statico + Manipolaz. " " "
<u>Compattatori ad alta velocità</u>	T. a zoccoli			Peso Statico + Manipolaz.+Impatto
<u>Compattatori Vibranti</u>		T. liscio		Peso Statico + Vibrazione
	T.a tronco di cono		T.di cono	Peso St.+Manipol.+Impat.+Vibraz.

Fig.78

Type	Self-weight (tonnes)	Ballasted weight (tonnes)	Drum or wheel diameter (mm)	Horse power, hp (kW)	Working speed	Frequency (Hz)	Loose lift (mm)	Remarks
 Vibration	0.3-0.7	—	up to 1000	approx. 5 (3.7)	up to 3 km/h	up to 80	100-200	Trench reinstatement, small scale works and compacting bituminous surfaces
 Vibration (including seated driver)	0.5-13.0	—	up to 1500	10-200 (7.5-150)	up to 10 km/h	up to 80	200-1000	Small hand-steered version similar to above, larger types with seated driver for large works, e.g. sub-bases and bearing courses on roads
 Vibration	4.0-15.0	—	up to 2500	6-200 (4-150)	Towed	20-30	300-1000	Tractor-drawn suitable on large scale works, road subgrades, earth dams, heavy foundations, stone crushing
Static	4.0-15.0	up to 20.0	up to 2500	Towed	Towed	—	up to 300	
 Static	8.0-14.0	up to 20.0	up to 2000	50-100 (37-75)	up to 10 km/h	—	up to 300	Mainly used for road surfacing operations
 Rubber-tyred static	7.0-14.0	up to 30.0	—	100-200 (75-150)	up to 20 km/h	—	up to 700	Suitable for loamy soils on major construction, e.g. road bases, earth dams
 Vibrating plate	0.1-1.0	—	—	2-10 (1.5-7.5)	up to 25 m/min	10-80	up to 700	Used on gravel and sand, very manoeuvrable, ideal for small scale work in awkward situations
 Stamper	approx. 0.1	—	—	approx. 3 (2)	—	60-80 blows per min	up to 500	Very small scale works, compacting foundations, trenches, etc.

5.4. Analisi del ciclo di lavoro e calcolo della produzione oraria

Per calcolare la produzione di un rullo statico o vibrante, con carro a pneumatici o a tamburi lisci o a "piedi", occorre considerare 4 fattori:

L = larghezza della fascia di terreno compattata ad ogni passata, ovvero la larghezza del tamburo [cm]

v = velocità di traslazione della macchina [Km/h]

s = spessore dello strato compattato misurato dopo il costipamento [cm]

n = numero di passate necessario ad ottenere l'addensamento prescritto

Produzione teorica:

$$P_t = (L-\beta) \times v \times s / (10 \times n) \text{ [mc/h]}$$

Produzione reale:

$$P_r = f \times P_t \text{ [mc/h]}$$

dove:

β = coefficiente di riduzione della larghezza del tamburo per tenere conto delle sovrapposizioni durante le passate = 10+15 cm

f = efficienza sul lavoro (<1)

INDICE

1. PREMESSA	Pag.	1
2. MACCHINE PER LO SCAVO	“	2
2.1. Equipaggiamento a benna frontale o rovescia	“	3
2.1.1 <i>Analisi del ciclo di lavoro</i>	“	5
2.2. Equipaggiamento benna mordente	“	5
2.2.1 <i>Sistema di comando a funi</i>	“	5
2.2.2 <i>Sistema di comando idraulico</i>	“	6
2.3. Equipaggiamento a benna trascinata	“	8
2.3.1 <i>Analisi del ciclo di lavoro</i>	“	8
2.4. Calcolo della produzione oraria	“	9
3. MACCHINE PER LO SCAVO ED IL TRASPORTO	“	12
3.1. Pala caricatrice	“	12
3.1.1 <i>Pala con carico e scarico frontale</i>	“	16
3.1.2 <i>Pala con carico anteriore e scarico posteriore</i>	“	18
3.1.3 <i>Pala con scarico laterale</i>	“	19
3.1.4 <i>Analisi del ciclo di lavoro</i>	“	19
3.1.5 <i>Calcolo della produzione oraria</i>	“	19
3.2. Apripista	“	21
3.2.1 <i>Analisi del ciclo di lavoro</i>	“	23
3.2.2 <i>Calcolo della produzione oraria</i>	“	26
3.3. Ruspe	“	27
3.3.1 <i>Tipi di ruspa</i>	“	28
3.3.2 <i>Metodi di lavoro</i>	“	29
3.3.3 <i>Analisi del ciclo di lavoro</i>	“	31
3.3.4 <i>Calcolo della produzione oraria</i>	“	34
3.4. Livellatrici (motorgrader)	“	36
3.4.1 <i>Analisi del ciclo di lavoro e calcolo della produzione oraria</i>	“	39
4. RIPPERS (SCARIFICATORI)	“	39
4.1. Scelta dell'attrezzatura di rippaggio	“	40
4.2. Macchine che si possono rippare	“	42
4.3. Analisi del ciclo di lavoro e calcolo della produzione oraria	“	43
4.3.1 <i>Calcolo della produzione oraria con la misurazione delle distanze</i>	“	45
5. MACCHINE COMPATTATRICI	“	46
5.1. Mezzi statici	“	46
5.1.1 <i>Rulli con ruote metalliche</i>	“	46
5.1.2 <i>Rulli con tamburi a zoccoli</i>	“	48
5.1.3 <i>Rulli gommati</i>	“	50
5.2. Mezzi dinamici	“	51
5.2.1 <i>Rulli vibranti</i>	“	51
5.2.2 <i>Piastre vibranti</i>	“	52
5.3. Scelta della macchina in funzione del materiale	“	53
5.4. Analisi del ciclo di lavoro e calcolo della produzione oraria	“	55