UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

FLORE
Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Gli scavi e le opere al suolo

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:
Gli scavi e le opere al suolo / M. MASERA. - STAMPA. - (2006), pp. OC.142-OC.162.

Availability:
This version is available at: 2158/306869 since:

Publisher:
SAVERIO MECCA (CURATORE DELLA SEZIONE)

Terms of use:
Open Access
La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)

12 October 2024

XI. GLI SCAVI E LE OPERE AL SUOLO

(Prof. Arch. MARCO MASERA)

11.1. Generalità. — Nel cantiere edile le attività di scavo e di opere al suolo coinvolgono numerose attività eterogenee fra loro ma tecnicamente connesse e interdipendenti. Fra queste le più comuni che preludono alla costruzione di un edificio sono: operazioni di scavo, opere provvisionali e accessorie, opere di contenimento e accessorie, riduzioni temporanee della falda, ecc. Le operazioni di scavo hanno tutte in comune la caratteristica di essere condotte da macchinari mobili che si possono dislocare autonomamente da un punto all'altro del cantiere e, con alcune limitazioni, sulla rete stradale.

11.2. Operazioni di scavo. — Le principali operazioni che le macchine da movimento terra sono chiamate a svolgere si possono suddividere in operazioni che riguardano:

a) la produzione:
– lo scavo e la spinta del terreno per le quali si utilizzano vari tipi di escavatori, pale caricatrici, apripista, ecc.;
– lo scavo in sezione obbligata per la quale si utilizzano principalmente escavatori a braccio rovescio;
– lo scavo su superfici rocciose e la scarificatura o rippaggio, per le quali si utilizzano ripper e accessori montati solitamente su apripista con la funzione di scarificare i terreni rocciosi;
b) il trasporto; con dumper e con camion abilitati al trasporto sulla rete stradale;
c) l'assistenza alla produzione che prevede il livellamento e la compattazione, per i quali si utilizzano motolivellatrici e compattatori.

Specie nel cantiere edile sono queste da intendersi come attività prevalenti delle macchine impiegate, accanto ad altre di carattere più estemporaneo, sulle quali si concentra sempre più l'attenzione nella progettazione delle configurazioni di base e degli accessori, quali sono, per esempio, quelli per la movimentazione di componenti o per la demolizione. Adattabilità e flessibilità sono requisiti prevalenti che orientano l'evoluzione della progettazione verso ibridazioni e generalizzazione delle funzioni. Pur tuttavia esistono limitazioni tecniche che permettono di individuare caratteristiche significative di prestazioni ed efficienza tali da identificare i profili di impiego prevalenti delle attrezzature.

11.2.1. ESCAVATORI IDRAULICI. Gli escavatori idraulici sono le macchine più utilizzate per operazioni di scavo nell'ambito delle costruzioni edili. Braccio di scavo, corpo motore e cabina di guida sono fra loro solidali e ruotano su una ralla montata sul telaio che sostiene il sistema di locomozione del mezzo. La diffusione di impiego ne ha determinato un costante miglioramento delle prestazioni tecniche e una riduzione dei costi di esercizio. Possono essere principalmente distinte in base al:

– sistema di locomozione (su cingoli o su pneumatici);
– braccio di scavo (a braccio rovescio, a benna frontale, con braccio a polipo).

Le caratteristiche prestazionali che orientano nella scelta delle risorse da adibire alle fasi di scavo sono:

– la capacità nominale, che corrisponde a un carico massimo per lo sbraccio minimo;
– il carico di ribaltamento, rispetto al massimo sbraccio a pieno carico o rispetto a un'altezza stabilita;
– lo sforzo di strappo, che è il massimo sforzo ascendente sopportato dalla macchina;
– il peso della macchina, che fa da contrappeso allo sforzo di strappo della benna; da questa

caratteristica operativa si ricava una suddivisione in classi di peso che caratterizzano la capacità operativa del mezzo.

Le caratteristiche relative alla geometria di scavo eseguibile sono riportate nell'abaco dello sbraccio della macchina e individuano la zona di scavo ed il profilo dell'inviluppo operativo limite della macchina (fig. 11.1):

– *A*, altezza massima a benna carica;
– *B*, sbraccio massimo a livello del suolo;
– *C*, profondità massima di scavo;
– *D*, profondità massima per ottenere una parete verticale;
– *E*, profondità massima per ottenere un fondo piano;
– *F*, altezza massima del perno di fissaggio della benna;
– *G*, altezza massima della benna scarica.

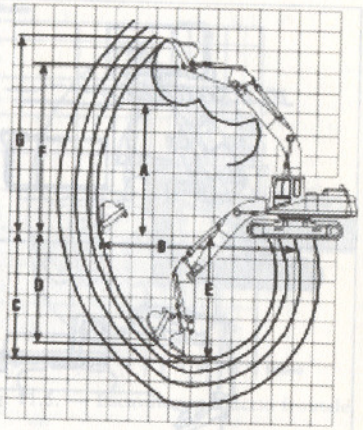

Fig. 11.1. — Caratteristiche relative alla geometria di scavo.

Gli escavatori idraulici si distinguono in positivo da altre macchine escavatrici per la capacità di compiere movimenti di carico e scarico senza compiere spostamenti sui cingoli e per la capacità di cavare in sicurezza materiale posto sotto il piano di appoggio della macchina (fig. 11.2). Per contro risulta svantaggiosa la minore velocità di traslazione da una posizione di scavo all'altra.

Il ciclo di un escavatore idraulico si compone di quattro attività elementari:

– carico della benna;
– rotazione a pieno carico;
– scarico della benna;
– rotazione a vuoto e ritorno in posizione di carico.

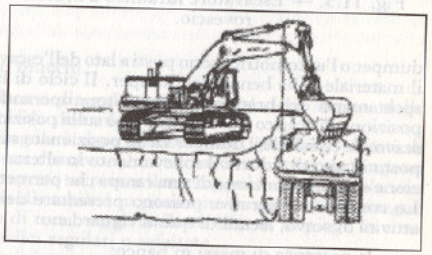

Fig. 11.2. — Escavatore idraulico.

Gli spostamenti che riguardano il posizionamento dell'escavatore sul fronte di taglio non vengono considerati nel tempo di ciclo. Il tempo di ciclo totale dell'escavatore dipende dalle dimensioni della macchina (macchine di dimensioni minori hanno tempi di ciclo inferiori rispetto a macchine di grosse dimensioni) e dalle condizioni di lavoro. In condizioni di lavoro eccellenti, l'escavatore ha cicli mediamente più veloci; al variare delle condizioni (terreni più coesivi, trincee più profonde, presenza di ostacoli, ecc.) il tempo di ciclo aumenta. Più è profondo lo scavo maggiore è l'escursione del braccio, maggiori sono i tempi di affondo e di richiamo (tab. 11.I).

TAB. 11.I. — PRESTAZIONI DEGLI ESCAVATORI IDRAULICI COMUNEMENTE UTILIZZATI NEI CANTIERI EDILI.

	Massa (t)	Capacità del cucchiaio (m^3)	Profondità massima di scavo (m)	Sollevamento (t)
Escavatore a braccio rovescio	Mezzi su pneumatici			
	Da 6 a 32 (17)	Da 0,950 a 1,8 (1)	Da 3,60 a 8,10 (da 6 a 7)	≤ 13
	Mezzi cingolati			
	Da 8 a 840	Da 0,325 a 35	Da 2,5 a 15	≤ 95
Escavatore a braccio frontale	Mezzi cingolati			
	Da 8 a 840	Da 0,325 a 35	Da 2,5 a 15	≤ 95
Minipala su cingoli	Da 0,75 a 7 (≤ 4)	Da 30 a 700 l (150 l) (*)	3,8 (2,5)	–

Fra parentesi sono indicati i valori medi di riferimento per i mezzi più largamente utilizzati.
(*) Con larghezza massima pari a 0,45 m

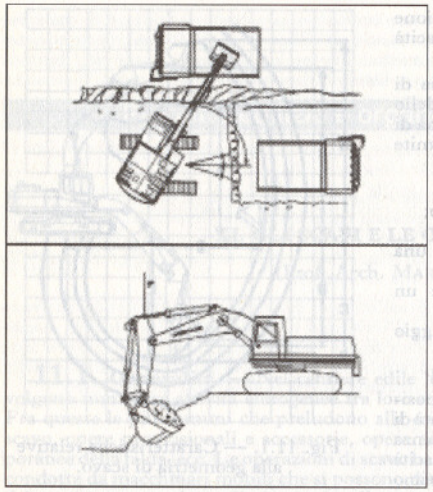

Fig. 11.3. — Escavatore idraulico a braccio rovescio.

11.2.1.1. *Escavatore idraulico a braccio rovescio.* — Si tratta di macchine per lo più su cingoli, più raramente su gomme, equipaggiate con un braccio rovescio e una benna basculante sostituibile (figg. 11.3 e 11.4). Nel lavoro di scavo la macchina «sbraccia» e affonda la benna nel terreno al punto di attacco sotto il piano di appoggio dei cingoli. La benna viene riempita quando il braccio anteriore si trova sulla verticale e mediante l'azione di richiamo viene asportato il terreno. La manovrabilità della benna permette di asportare il materiale mantenendo verticali la parete di scavo o orizzontale il fondo dello scavo. Gli escavatori idraulici vengono utilizzati in:

- scavi a sezione obbligata, per i quali sono insostituibili;
- scavo di sbancamento;
- posa di tubazioni;
- scavi di trincee;
- demolizione di fabbricati.

La procedura convenzionale in un scavo di sbancamento prevede che l'escavatore arretri facendo avanzare il fronte di scavo. Se le condizioni lo consentono il dumper o l'automotrice sono posti a lato dell'escavatore che carica, ritrae il braccio, ruota e scarica il materiale nella benna del dumper. Il ciclo di lavoro può essere migliorato se si riducono gli spostamenti del braccio dell'escavatore operando sull'angolo di rotazione del braccio e sulla posizione di scarico della benna, cioè sulla posizione del cassone del dumper rispetto al piano di scavo. Se possibile il dumper viene posizionato sul fondo dello scavo, permettendo all'escavatore posto in alto di ridurre il sollevamento in altezza del materiale. Ciò può comportare la preparazione e la manutenzione di una rampa che permetta al dumper di scendere sul fondo dello scavo. Le condizioni operative possono presentare dei rischi che possono rendere più disagevoli le attività di scavo; alcuni di questi riguardano:

- la presenza di massi in banco;
- la presenza di terreni cedevoli che non permettono di tagliare il banco in condizioni di sicurezza;
- le condizioni topografiche, le pendenze naturali del terreno, ecc;
- l'esigenza di un'accurata manutenzione delle piste.

11.2.1.2. *Escavatore a braccio frontale.* — Viene utilizzato come una pala caricatrice cingolata: la differenza è relativa al ciclo carico/scarico; la pala cingolata si pone in posizione di scarico mediante una manovra indietro, una sterzata con avanzamento e successivo scarico. L'escavatore

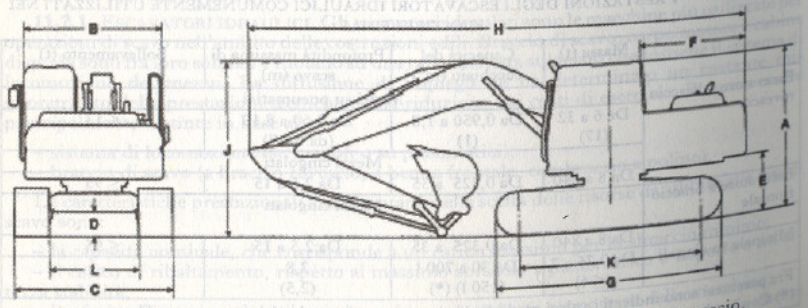

Fig. 11.4. — Caratteristiche di ingombro di un escavatore a braccio rovescio.

a braccio frontale elimina il tempo di trasporto eseguendo solo una rotazione sulla ralla prima di scaricare. Condizione frequente di impiego è in posizione di fronte cava; l'operazione di carico del braccio viene eseguita mediante un movimento in avanti, dal basso verso l'alto (fig. 11.5). Caratteristica di rilievo di questa macchina è la versatilità d'uso, dovuta alla gamma di accessori disponibili per numerose operazioni nei cantieri edili quali:

- le demolizioni, per mezzo di demolitori idraulici;
- le frantumazioni e il trasporto di rocce di grandi dimensioni, con macchine sufficientemente pesanti;
- lo scavo di fossati con benne aventi idonee geometrie di scavo;
- il sollevamento e la posa di tubi sul fondo dello scavo con bracci idonei;
- lo scavo in trincea con benne a polipo per scavi di fondazione.

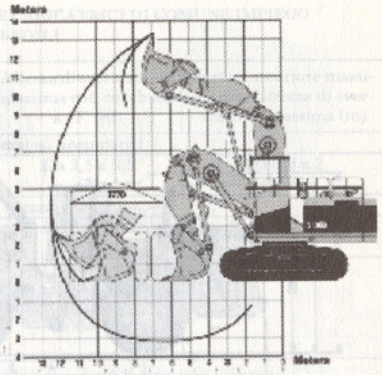

Fig. 11.5. — Escavatore a braccio frontale.

Un accessorio degli escavatori idraulici da considerare a parte è il braccio a polipo che viene sospeso all'estremità del braccio ed esegue l'asportazione del terreno mediante due benne simmetriche, a tenaglia, che vengono fatte cadere il posizione di apertura sul terreno. Viene utilizzato in particolare per:

- lo scavo di pozzi di fondazione;
- lo scavo di materiale molto mobile;
- la ripresa di materiale sciolto stoccato in mucchi.

Il suo rendimento non è facile da calcolare e dipende dalla capacità delle benne, dalle caratteristiche del materiale, dalla durata del ciclo di scavo.

Una variante degli escavatori idraulici cingolati sono gli escavatori gommati, dotati di stabilizzatori fissati a terra durante le operazioni di scavo. Queste macchine non raggiungono le classi di peso delle omologhe cingolate. Rispetto ai primi il vantaggio è costituito da una superiore mobilità, lo svantaggio è una perdita di stabilità in posizione di scavo. Ne consegue una riduzione della potenza di scavo a fronte di una maggiore flessibilità di impiego in condizioni meno gravose quali l'impiego su superfici regolari o asfaltate.

Un'ulteriore variante è rappresentata dai miniescavatori cingolati, che offrono prestazioni ridotte rispetto alle pale tradizionali, ma si fanno apprezzare per la loro leggerezza e compattezza. Vengono spesso utilizzati nei cantieri con funzioni di assistenza per operazioni di modesta entità e per lavorare in spazi molto ristretti, oltre che per effettuare scavi che altrimenti andrebbero eseguiti manualmente.

Risultano particolarmente impiegati nei cantieri edili, nella manutenzione delle reti idriche e fognarie, ecc. Frequentemente impiegati per scavi in sezione obbligata, il materiale viene scaricato a lato della linea di scavo per mezzo di una benna a braccio rovescio e successivamente viene riutilizzato per il riempimento.

11.2.2. Pale caricatrici. — Una pala caricatrice è una macchina da movimento terra, montata su cingoli o su gomme, equipaggiata con una pala frontale montata su due bracci idraulici che consentono di caricare la benna mediante avanzamento con i bracci abbassati, ruotare e sollevare la benna in posizione di trasporto e trasportare il carico al punto di scarico (fig. 11.6).

Macchine da carico su pneumatici: sono macchine multiuso, utilizzate nella movimentazione e nello stoccaggio di materiale sciolto su piazzale, nell'assistenza per sistemazione e pulizia dei punti di carico per escavatori di grande mole, per lo spostamento di terreno vegetale o per lo spostamento di macerie da demolizione. Sono le più numerose, maneggevoli e veloci, utilizzate di preferenza per lavori che richiedono numerosi spostamenti. Talvolta sono impiegate per eseguire uno scavo se il terreno risulta facilmente terrazzabile; in questi casi la pala viene posizionata con un angolo che all'avanzamento del mezzo produce uno scorticamento della superficie del terreno.

Macchine da carico su cingoli: meno diffuse delle precedenti, sono utilizzate per svolgere operazioni analoghe a quelle svolte dalle macchine su pneumatici, ma su terreni difficili, su suoli compatti, sdrucciolevoli o su forti declivi. Molto diffuse in passato, sono state pro-

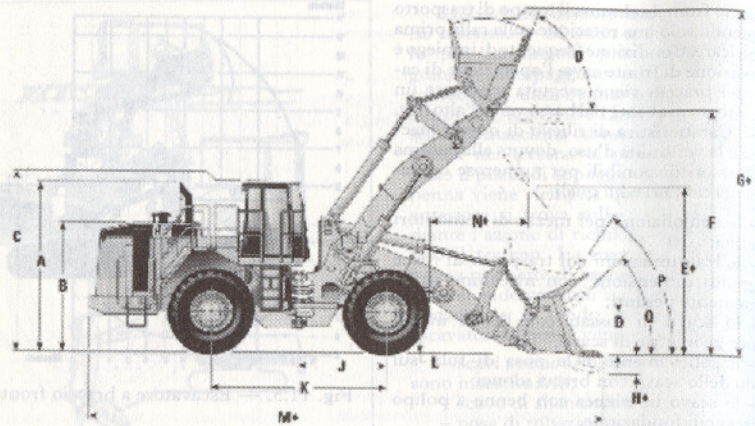

Fig. 11.6. — Caratteristiche dimensionali di una pala caricatrice di medie dimensioni.

gressivamente sostituite da macchine più specializzate. Non sono adatte per lavori che richiedono numerosi spostamenti a causa della bassa velocità di spostamento.

Minicaricatori: sono modelli ridotti delle macchine da carico tradizionali e trovano impiego nei lavori in spazi ristretti e nei lavori di ristrutturazione. Mobili, leggeri e maneggevoli, con raggio di sterzata molto ridotto, sono facilmente trasportabili come le minipale e possono essere equipaggiati da numerosi accessori. Possono avere un motore potente sia per gli spostamenti che per il sollevamento e per lo scavo e per svolgere compiti difficilmente realizzabili manualmente. Le dimensioni ridotte dei bracci ne limitano la capacità di carico su mezzi da trasporto. Usualmente non vengono utilizzati con questo compito, mentre la facilità di sostituzione degli accessori ne fanno un strumento polivalente adatto ai piccoli cantieri.

Le caratteristiche che ne determinano il campo applicativo sono: peso, potenza del motore e capacità della benna. Inoltre vengono prese in considerazione: il raggio di sterzata, la velocità di sollevamento, il carico statico di ribaltamento, l'altezza e la distanza di scarico.

Le dimensioni utili che caratterizzano l'ingombro di una pala caricatrice sono principalmente:

– l'altezza da terra della pala in posizione di carico, cioè la distanza da terra dall'attacco della pala;
– l'altezza minima da terra della pala basculante in posizione ruotata verso il basso;
– la profondità di scavo.

L'angolo di richiamo della benna determina l'effettiva capacità di riempimento al di là delle dimensioni geometriche della stessa.

Le prime due distanze costituiscono il vincolo di interfaccia con la benna del dumper nel quale la pala scarica. Criteri di scelta altrettanto importanti sono le prestazioni fornite dal mezzo in termini di:

– capacità nominale di carico;
– carico di ribaltamento; il carico statico di ribaltamento permette di calcolare la capacità di carico della macchina (kg). Da considerare che il carico di ribaltamento viene valutato a macchina in posizione orizzontale;
– sforzo di strappo per il sollevamento da terra della benna carica.

La tab. 11.II illustra sinteticamente le prestazioni delle pale caricatrici comunemente utilizzate nei cantieri edili.

Accessori delle pale caricatrici. La capacità della benna è definita da due parametri: la capacità del cucchiaio (m^3) e il carico utile. Il carico utile viene determinato tenendo in conto la massa volumica del suolo e il coefficiente di riempimento della benna. Il carico utile deve essere inferiore alla capacità nominale del motore.

TAB. 11.II. — PRESTAZIONI DELLE PALE CARICATRICI DI COMUNE IMPIEGO NEI CANTIERI EDILI.

	Massa (t)	Capacità del cucchiaio (m^3)	Altezza di sversamento massima con cucchiaio a 45° (m)	Portata anteriore massima per l'altezza di sversamento massima (m)
Pale caricatrici	Mezzi su pneumatici			
	Da 7 a 126 (17)	Da 0,95 a 16,8 (1,5)	Da 3,5 a 5,5 (3)	Da 0,9 a 2 (1,05)
	Mezzi cingolati			
	Da 7 a 27	Da 0,65 a 3 (1,5)	Da 2,5 a 3,3 (2,75)	Da 0,78 a 1,36 (1,05)
Minipala su cingoli con ingombro tipico di 1,75×4×2 e velocità comprese fra 5 e 35 km/h	Da 0,75 a 7 (3)	Da 0,13 a 1 (0,5) (*)	Da 3,5 a 4,5 (2,5)	Da 0,9 a 2 m

Fra parentesi sono indicati i valori medi di riferimento per i mezzi più largamente utilizzati.
(*) Con cucchiaio rovescio.

Le principali benne utilizzate sono: benna a scarico laterale o trilaterale, a scarico dal fondo, da roccia, ecc. La benna può essere di differente forma geometrica secondo i diversi utilizzi necessari e essere munita di denti sul tagliente per facilitare la penetrazione. La benna da roccia, utilizzata in cava o in galleria, possiede un tagliente a V privo di denti. La benna a scarico dal fondo può essere impiegata aperta per lo spargimento del terreno.

La benna a scarico laterale, mediante lo spostamento in avanti della macchina, permette di aumentare il rendimento della macchina, riducendo il numero di spostamenti necessari, specie in spazi ristretti di manovra.

Lo scarificatore a denti permette di penetrare a profondità variabile in alcuni materiali (terreno, asfalto, ecc.) e frantumare lo strato superficiale. È normalmente montato sul retro del caricatore.

Il ripper è analogo allo scarificatore, ma è munito in genere di un solo dente; viene utilizzato per frantumare superfici rocciose o massi presenti nel terreno di scavo. L'abbinamento del ripper con una pala caricatrice è stato soppiantato da quello con le terne gommate che sono risultate più adattabili all'utilizzo di accessori plurifunzionali.

11.2.3. TERNE GOMMATE. — Le terne gommate nascono come ibrido fra un trattore agricolo e una pala caricatrice dotata di un braccio rovescio montato sul retro della macchina, come risposta a esigenze di versatilità e flessibilità d'uso. Elemento peculiare è la possibilità per l'operatore di passare da una postazione di lavoro all'altra invertendo la posizione del sedile. Viene montata sia su cingoli che su gomma; nel secondo caso sono presenti degli stabilizzatori idraulici sull'assale posteriore che vengono abbassati quando la macchina lavora in modalità di pala idraulica. Sono utili nei cantiere di taglia modesta e hanno particolare successo nelle piccole imprese in sostituzione di macchine caricatrici e di pale idrauliche. La polivalenza è pagata con prestazioni singole inferiori rispetto a quelle fornite dalle macchine specializzate (tab. 11.III e fig. 11.7).

Le caratteristiche che ne determinano il campo applicativo, analogamente alle pale caricatrici, sono: peso, potenza del motore e capacità della benna. Trattandosi di un mezzo polivalente, però, tali distinzioni sono meno significative.

TAB. 11.III. — PRESTAZIONI DELLE TERNE GOMMATE.

Mezzo di locomozione	Massa (t)	Capacità del cucchiaio (m^3)	Altezza di sversamento massima con cucchiaio a 45° (m)	Profondità massima di scavo (m)
Su pneumatici	Da 4 a 10	Da 0,8 a 1 (1) Da 0,15 a 3 (2)	2,60 in media	Da 4 a 5

(1) Per la pala.
(2) Per il braccio rovescio.

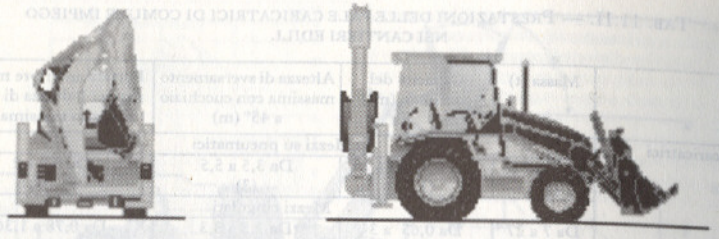

Fig. 11.7. — Terna gommata equipaggiata con braccio rovescio.

Le prestazioni della benna di caricamento sono comparabili con le prestazioni di un caricatore gommato. Per l'utilizzo del braccio rovescio, in analogia agli escavatori idraulici, vengono considerati i seguenti parametri:

- caratteristiche geometriche del braccio;
- forza di strappo al dente (misurato a una distanza data dal perno della benna);
- lunghezza e peso della macchina.

Per il braccio rovescio sono importanti:

- le caratteristiche geometriche che determinano la forza di strappo al dente;
- la profondità di scavo massima;
- la velocità di rotazione; lo snodo sul quale ruota il braccio è uno dei punti maggiormente a rischio per rotture da sforzo;
- per i frequenti spostamenti della macchina è importante conoscere il tempo necessario al posizionamento degli stabilizzatori.

11.2.4. APRIPISTA. — Sono macchine derivate dai trattori agricoli per lo più su cingoli, più raramente su gomme; sono equipaggiate da una lama frontale. Vengono utilizzati modelli di grande potenza nello scavo di materiale non roccioso con il trasporto a distanze non superiori a 150÷200 m (fig. 11.8). Nel lavoro di scavo la macchina spinge la lama montata e affondata parzialmente nel terreno. All'avanzamento dell'apripista il materiale si «avvolge» con un moto elicoidale in avanti che riduce la resistenza alla spinta ed è favorito dalla geometria della lama. Agli apripista sono spesso preferite in edilizia macchine con maggiore manovrabilità e buon livello di specializzazione.

I modelli più potenti sono utilizzati per:

- aprire piste;
- scavare a mezzacosta;
- preparare il materiale al carico su altri mezzi;
- effettuare sgomberi e dissodamenti;
- realizzare sfondamenti e rippaggi di materiali trattati con esplosivo, che possono essere frantumati e rimossi con queste macchine di grande potenza;
- rimorchiare grossi carichi a bassa velocità su terreni a forte pendenza o per brevi distanze.

I modelli di minore potenza sono utilizzati per lo spargimento di terreno su rilevati e per la pulizia di piste e piazzali.

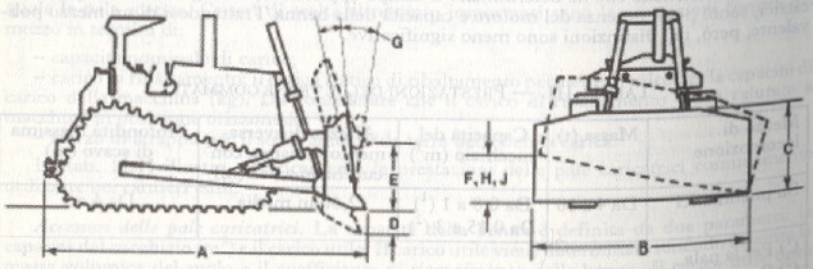

Fig. 11.8. — Principali caratteristiche dimensionali di un apripista.

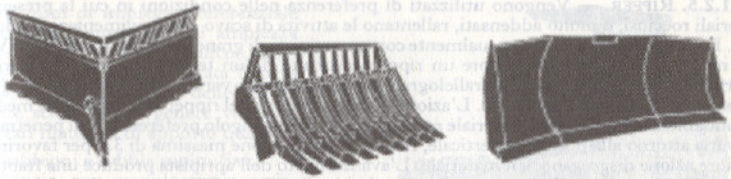

Fig. 11.9. — Accessori per apripista.

Gli apripista sono macchine che lavorano in spinta o al traino e vengono classificate in funzione della potenza misurata alla barra, identificata con la potenza espressa dal motore. Ne consegue che le grandezze caratteristiche sono la massa, la lunghezza e la superficie di contatto con il suolo. Da esse, infatti, si ricava l'aderenza al terreno e quindi la capacità di utilizzare la potenza del motore. La forza di penetrazione della lama (rispettivamente del ripper o dello scarificatore) va messa in relazione con lo sforzo massimo trasmissibile alla lama all'atto dello spostamento del materiale e con la potenza massima trasmessa sul terreno dai cingoli. Il calcolo viene ottenuto schematicamente moltiplicando lo sforzo di trazione (proporzionale alla massa dell'apripista) per un coefficiente che dipende dalle condizioni di aderenza dei cingoli sul suolo.

Le prestazioni degli apripista attualmente commercializzati sono definite in relazione diretta con la loro massa.

Accessori degli apripista. Il tipo di lama montata dipende dal lavoro richiesto, dalla potenza della macchina e dalle caratteristiche del terreno. Sono utilizzate (fig. 11.9):

- lame standard;
- lame a U, utilizzate su terreni di basso peso specifico; presentano i lati avanzati per aumentare la quantità di terreno mosso;
- lame inclinate per indirizzare lo scarico o per riempimenti;
- ripper e scarificatori per la demolizione di suoli rocciosi;
- lame a V per il taglio di alberi, verricelli, ecc.

Al traino gli apripista fungono da trattori per macchine di vario tipo (scraper, compattatori, ecc.) agendo in maniera combinata in fase di avanzamento (per esempio, spargimento a lama alzata con compattamento mediante rullo al retro).

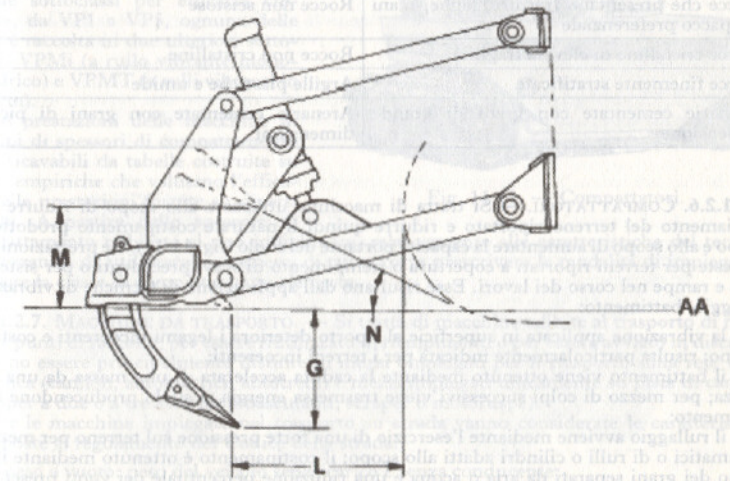

Fig. 11.10. — Scarificatore pluridente a parallelogramma.

11.2.5. RIPPER. — Vengono utilizzati di preferenza nelle condizioni in cui la presenza di materiali rocciosi, o molto addensati, rallentano le attività di scavo e la movimentazione del terreno. La scarificatura si esegue usualmente con un apripista di grande potenza (oltre 300 CV) che reca montato sulla parte posteriore un ripper costituito da un telaio di acciaio che permette un'articolazione a «cerniera» o a «parallelogramma» di un numero variabile di denti di acciaio (fino a un massimo di cinque) (fig. 11.10). L'azione di disgregazione del ripper viene condotta mediante l'affondamento dei denti nel materiale roccioso, secondo un angolo preferenziale di penetrazione che varia attorno alla posizione verticale, fino a un'inclinazione massima di 33° per favorire una migliore azione disgregante sul materiale. L'avanzamento dell'apripista produce una frantumazione della crosta del suolo per uno spessore relativo alla misura della penetrazione dei denti.

La variante principale dello schema base di funzionamento è rappresentato da uno scarificatore monodente dotato di percussore idraulico, che frantuma progressivamente la crosta del terreno. L'apripista procede per stazionamenti successivi durante i quali lo scarificatore viene messo in azione.

Il campo di applicazione dei due modi operativi, pluridente a «cerniera» o monodente a percussione, è sostanzialmente lo stesso con un vantaggio per il ripper monodente idraulico che ha una produzione di 3,5 volte il ripper tradizionale. L'azione di percussione del ripper monodente è tale da consentire il montaggio dell'utensile su pale che possono alternare il grippaggio al prelievo del materiale. Il ripper a più denti risulta maggiormente efficace nelle formazioni di argilla compatta e su terreni costituiti da arenarie poco cementate. I limiti riguardano i problemi di manovrabilità degli apripista, che sono stati sostituiti in numerosi campi da macchine più flessibili e dedicate al movimento terra per opere stradali.

Il limite di impiego è costituto da formazioni rocciose per le quali si ha una propagazione di onda sismica non superiore a 2000 m/sec. Oltre questo limite occorre l'impiego dell'esplosivo nella misura in cui ciò è possibile.

Nella tab. 11.IV sono riportate le caratteristiche fisiche che generalmente possono ostacolare o favorire la scarificatura.

Per materiali con pezzatura di frantumazione minuta è possibile procedere con la pendenza del suolo a favore per aumentare l'efficacia dell'azione. Ciò non è ammesso con pezzature che mettono a rischio la sicurezza degli operatori. La successione delle operazioni di rippaggio va programmata considerando che la superficie scarificata può ostacolare il movimento dei mezzi di carico e il trasporto.

TAB. 11.IV. — FATTORI CHE FAVORISCONO O OSTACOLANO LA SCARIFICATURA.

Favoriscono la scarificatura	*Ostacolano la scarificatura*
Rocce con bassa resistenza a compressione	Rocce massive e omogeneee
Rocce che presentano fratture, faglie, piani di spacco preferenziale	Rocce non scistose
Rocce cristalline di elevata fragilità	Rocce non cristalline
Rocce finemente stratificate	Argille plastiche e umide
Arenarie cementate con grani di grande dimensione	Arenarie cementate con grani di piccole dimensioni

11.2.6. COMPATTATORI. — Si tratta di macchine utilizzate allo scopo di ridurre il rigonfiamento del terreno riportato e ridurre quindi il naturale costipamento prodotto nel tempo e allo scopo di aumentare la capacità portante del suolo (fig. 11.11). Le prestazioni sono richieste per terreni riportati a copertura o riempimento di scavi precedenti o per sistemare piste e rampe nel corso dei lavori. Esse risultano dall'applicazione di tecniche di vibrazione, rullaggio, battimento:

– la vibrazione applicata in superficie al riporto deteriora i legami incoerenti e costipa il terreno; risulta particolarmente indicata per i terreni incoerenti;

– il battimento viene ottenuto mediante la caduta accelerata di una massa da una certa altezza; per mezzo di colpi successivi viene trasmessa energia al suolo producendone il costipamento;

– il rullaggio avviene mediante l'esercizio di una forte pressione sul terreno per mezzo di pneumatici o di rulli o cilindri adatti allo scopo; il costipamento è ottenuto mediante il serraggio dei grani separati da aria o acqua e una riduzione percentuale dei vuoti presenti all'interno dei grani. È mediamente meno efficace della vibrazione.

I domini di impiego preferenziale interessano sbancamenti di ampiezza modesta; piccoli cantieri (trincee, muri di sostegno, ecc.). Completata l'opera si procede al riempimento delle trincee rimaste scoperte. In genere vengono utilizzati materiali di apporto quali:

– sabbioni e sabbie molto fini;

– ghiaie, con granulometria variabile da 0,08 a 40 mm, per un peso di 20 kN/m^3 dopo il compattamento;

– ghiaia e cemento con l'aggiunta di additivo che ritarda la presa.

I *compattatori pneumatici* possono essere classificati in tre classi (P) in funzione del carico per ruota (CR).

I *compattatori vibranti* sono classificati in funzione del carico statico M (kg) applicato per unità della larghezza del cilindro vibrante L (cm) e in funzione dell'ampiezza teorica di vibrazione. I compattatori vibranti a cilindro liscio sono identificabili con una classe di vibrazione V; si distinguono cinque classi a efficacia crescente, suddivise in due sottoclassi:

– vibranti monocilindrici;

– vibranti bicilindrici.

I *compattatori statici* con cilindri a profilo scolpito sono classificati secondo il carico statico del mezzo M (kg) per unità di larghezza L (cm) di tamburo scolpito vibrante.

I *compattatori a profilo* scolpito sono identificabili con una classe di vibrazione VP della quale si distinguono cinque sottoclassi per efficacia crescente, da VP1 a VP5, ognuna delle quali è raccolta in due ulteriori sottoclassi: VPMi (a rullo vibrante monocilindrico) e VPMT (a rulli vibranti in tandem).

Le prestazioni delle macchine in termini di spessori di compattamento sono ricavabili da tabelle costruite su prove empiriche che valutano l'efficacia delle prestazioni fornite su diversi terreni. A partire dallo spessore di compattamento richiesto si può individuare, relativamente alle caratteristiche del terreno, l'attrezzatura da utilizzare in cantiere, di cui occorre prescrivere le modalità di impiego per ottenere la classe di compattamento richiesta.

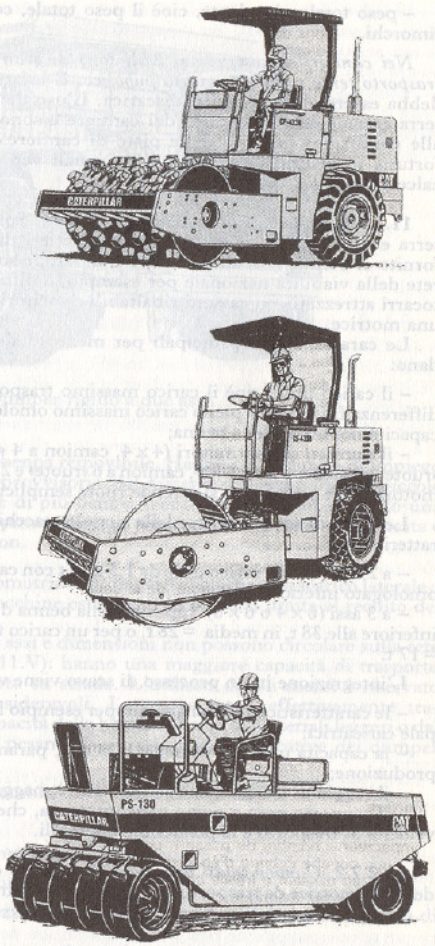

Fig. 11.11. — Compattatori.

11.2.7. MACCHINE DA TRASPORTO. — Si tratta di macchine adibite al trasporto di materiale a punti di raccolta, per essere riutilizzato in riempimenti o per essere avviato in discarica. Possono essere principalmente distinte in mezzi omologati per il trasporto sulla rete viaria pubblica (camion, automotrici, autotreni) e mezzi impiegati unicamente su pista di cantiere (dumper a due o a tre assi, motobasculanti, scraper o motoruspe).

Per le macchine impiegate nel trasporto su strada vanno considerate le caratteristiche sottoposte al regolamento del Codice della strada:

– peso a vuoto: peso del veicolo senza carico e senza conducente;

– peso totale autorizzato a pieno carico, ossia del carico massimo trasportabile per il quale il mezzo è omologato;

– peso totale viaggiante, cioè il peso totale, comprensivo del peso di eventuali traini o rimorchi.

Nei cantieri di costruzioni edili sono di gran lunga preferiti i camion omologati per il trasporto terra sulla rete viaria pubblica. È infatti assai frequente che il terreno asportato debba essere allontanato in discarica. L'uso dei dumper è preferito laddove il trasporto terra rimane entro i confini del cantiere e sono esaltate le caratteristiche di adattabilità alle condizioni precarie delle piste di cantiere. Le motobasculanti incontrano maggior fortuna in alcuni paesi europei nei quali vengono utilizzate anche per il trasporto di calcestruzzo.

11.2.7.1. *Automotrici da trasporto terra.* — Sono i mezzi più utilizzati per il trasporto di terra e di materiali di cava in tutti i cantieri di costruzioni civili. Le automotrici sono fornite di benna, basculante dietro o di lato, e sono abilitate al trasporto di materiale sulla rete della viabilità nazionale per esempio, a differenza dei dumper. Comprendono gli autocarri attrezzati con cassoni ribaltabili e i semirimorchi con cassone ribaltabile trainato da una motrice.

Le caratteristiche principali per mezzo delle quali classificare le automotrici riguardano:

– il carico utile, cioè il carico massimo trasportabile dalla benna del camion, dato dalla differenza fra il peso a pieno carico massimo omologato e il peso a vuoto e corrispondente alla capacità nominale della benna;

– il numero di assi motori (4 × 4, camion a 4 «ruote» e due assi motori; 6 × 2, camion a 6 «ruote» e 1 asse motore; 6 × 4, camion a 6 «ruote» e 2 assi motori; 6 × 6, camion a 6 «ruote» e 3 assi motori, dove per «ruote» si intende ruote semplici o gemelle).

Le classi di appartenenza delle singole macchine è data dalla combinazione delle due caratteristiche:

– a 2 assi (4 × 4): carico utile da 1,5 a 12 t con capacità della benna da 3 a 7 m^3 e carico totale omologato inferiore a 19 t;

– a 3 assi (6 × 4 o 6 × 6): capacità della benna da 10 a 14 m^3 per un carico totale omologato inferiore alle 38 t, in media = 28 t, o per un carico totale omologato inferiore alle 36 t, in media = 17 t.

L'integrazione in un processo di scavo viene vincolata da caratteristiche quali:

– le caratteristiche dimensionali, per esempio la compatibilità con l'altezza di scarico delle pale caricatrici;

– la capacità utile del cassone, o benna, parametro determinante per l'analisi dei cicli di produzione;

– il raggio di sterzata, che solitamente è maggiore nei dumper articolati a 2 o 3 assi;

– il rapporto peso a pieno carico/potenza, che permette di ricavare informazioni circa la velocità di trasporto e le pendenze superabili.

11.2.7.2. *Camion multi benna.* — Può essere considerata come una variante accessoriata dell'automotrice da trasporto terra. Queste macchine sono composte da un telaio trasportatore

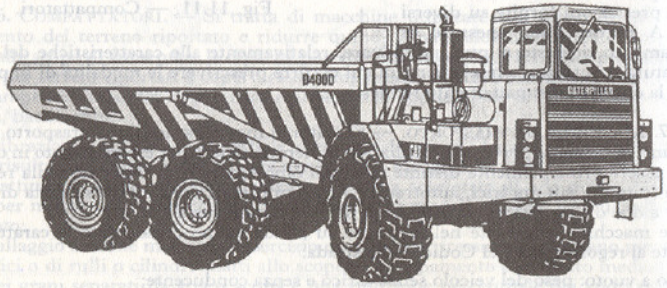

Fig. 11.12. — Dumper articolato.

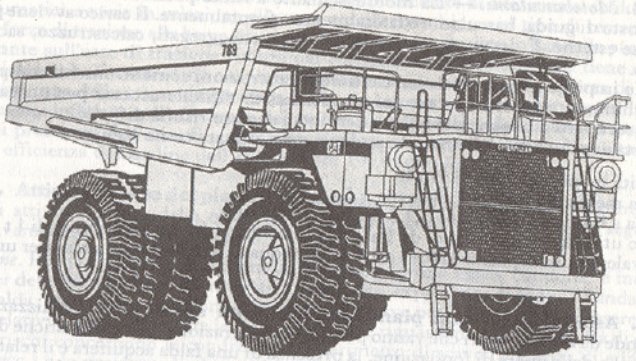

Fig. 11.13. — Dumper rigido a due assi.

e da un dispositivo di sollevamento di una benna removibile. Hanno come campo di impiego preferenziale il recupero e lo stoccaggio provvisorio del terreno o il trasporto di piccole macchine. Un solo mezzo si può occupare di più benne; mentre trasporta in deposito una benna carica, in cantiere si procede al riempimento di un'altra benna che viene poi caricata e allontanata dal cantiere al ritorno del camion.

11.2.7.3. *Dumper su ruote.* — Sono automotrici equipaggiate con benna a scarico laterale o posteriore. Il carico viene effettuato da macchine esterne. Il loro uso si limita al recinto del cantiere.

Si tratta di macchine che per peso sugli assi e dimensioni non possono circolare sulla rete viaria pubblica (figg. 11.12, 11,13 e tab. 11.V): hanno una maggiore capacità di trasporto rispetto alle automotrici adibite al trasporto su strada. L'utilizzo di tali mezzi è riservato solitamente a opere di sbancamento considerevoli. La massa totale effettivamente trasportabile viene limitata solamente dalla capacità della benna nel caso di materiali leggeri o dal massimo carico utile nel caso di materiali pesanti. Le prestazioni significative dei dumper riguardano:

– la potenza del motore e i rapporti al cambio;
– la robustezza del cassone;
– il sistema di frenatura;
– il sistema di accoppiamento trattore-rimorchio.

L'utilizzo è condizionato da requisiti quali:

– le caratteristiche dimensionali del mezzo, per esempio la compatibilità con l'altezza di scarico delle pale;

– la capacità utile del cassone, o della benna, determinante per l'analisi dei cicli di produzione;

– il raggio di sterzata, che solitamente è maggiore nei dumper articolati a 2 o 3 assi;

– il rapporto peso a pieno carico/potenza, che permette di ricavare informazioni circa la velocità di trasporto su pista del dumper.

TAB. 11.V. — CARATTERISTICHE DEI DUMPER SU RUOTE.

Tipo	Massa (t)	Capacità (t)	Capacità massima del cassone (m^3)	Velocità massima (km/h)
Dumper articolato a due o tre velocità	Da 6 a 28	Da 8 a 40	Da 5 a 29	50
Dumper rigido a due assi e benna basculante posteriore	Da 9 a 149	Da 11 a 218	Da 7,5 a 170	50/60

11.2.7.4. *Motobasculanti.* — La motobasculante a ruote possiede una benna aperta, anteriore al posto di guida, basculante o lateralmente o frontalmente. Il carico avviene per mezzo di macchine esterne. È destinata a trasportare terreno, aggregati, calcestruzzo, sacchi di cemento, ecc.

Trovano impiego preferenziale nel cantiere di costruzioni come strumenti complementari delle macchine da trasporto, su terreni accidentati di difficile accesso per un camion, nei cantieri di recupero o in generale nei cantieri il cui accesso risulta difficile.

Le prestazioni tipiche delle motobasculanti sono stimate come segue:

– velocità media: da 15 a 25 km/h;
– massa media: da 0,6 a 4,2 t (media 1,5 t.);
– benna a bordo raso: da 0,45 a 3,5 m^3 (media 0,9 m^3);
– carico utile da 1 a 6 t (medio: da 1 a 2,5 t), considerando che carico utile di 1 t può essere fatto equivalere a una capacità da 0,45 a 0,5 m^3 di acqua o da 0,5 a 0,6 m^3 a raso per un materiale solido.

11.3. Aspetti legati alla pianificazione degli scavi. — L'organizzazione degli scavi dipende da alcuni fattori che vanno presi in considerazione: le caratteristiche del suolo, le caratteristiche delle opere di fondazione, la presenza di una falda acquifera e il relativo livello, l'economia del ciclo di produzione, scavo, riutilizzo e allontanamento del materiale movimentato. Morfologia e stratigrafia del terreno forniscono indicazioni per la realizzazione di opere di presidio, di contenimento di smottamenti del terreno e di esondazioni di corsi d'acqua, ecc. Fattori che contribuiscono alla formazione del costo sono le distanze di approvvigionamento o di allontanamento del terreno in discarica, la possibilità di riutilizzare il materiale per rilevati o per la preparazione del calcestruzzo, ma soprattutto contribuiscono i rischi legati ad attività che frequentemente dimostrano difficoltà impreviste e di vario genere.

In ordine alle caratteristiche del terreno da movimentare i dati principali di riferimento per la pianificazione riguardano i volumi dei materiali in banco, solitamente al netto dei lavori e delle movimentazioni accessorie. Il materiale in banco si presenta con una compattezza risultante dai processi di sedimentazione e dall'azione di agenti esogeni. La sua estrazione produce un aumento di volume di materiale sciolto rispetto al volume originario stipato in banco e analogamente il riempimento di uno scavo e la sua successiva costipazione producono una riduzione del volume in misura variabile. L'incremento e il decremento di volume variano secondo il tipo di materiale.

L'analisi della produzione delle macchine da scavo richiede la determinazione di due coefficienti che permettano di stimare le grandezze dei volumi in banco e dei volumi sciolti:

– il coefficiente di rigonfiamento, dato dal rapporto fra il volume sciolto e il volume in banco;
– il coefficiente di carico, dato da rapporto fra massa volumica in banco e massa volumica sciolta.

La massa per unità di volume in banco varia in relazione alla composizione del materiale, alla sua compattezza, alla presenza di acqua e al relativo grado di imbibizione. Sul fattore di riempimento delle pale influisce inoltre la pezzatura del materiale cavato, la sua omogeneità, la presenza di massi o radici.

Per la determinazione delle caratteristiche del terreno si ricorre ad analisi geognostiche e a prove geosismografiche per la determinazione del grado di addensamento degli strati di terreno e del loro spessore. La misura della velocità di propagazione di onde sismiche permette di calcolare indirettamente la densità del terreno.

Fattori generali presi in considerazione nella pianificazione di un sistema di produzione sono, fra le altre, le condizioni climatiche: temperatura, piovosità, umidità influenzano direttamente le condizioni operative del cantiere. Relativamente alla piovosità occorre valutare la permeabilità del terreno, l'esigenza di opere provvisorie di protezione, drenaggi, protezione delle piste mediante la stesura di uno strato di conglomerato bituminoso (per esempio per aree geografiche con più di 200 mm di pioggia/mese).

Fattori che incidono sulle condizioni operative delle macchine da movimento terra sono i seguenti.

La *resistenza al rotolamento* è in relazione alle condizioni delle piste del cantiere, e agli eventi meteorologici; viene espressa in unità di chilogrammi di resistenza al moto per tonnellata di peso della macchina. Il fattore viene preso in considerazione unicamente per le macchine montate su pneumatici, mentre le macchine su cingoli traslano la propria base di appoggio resa solidale con il terreno.

La *resistenza al pendio* è la componente della forza di gravità che si oppone al moto. È positiva o negativa a seconda che la macchina lavori in favore o a sfavore di pendio.

Il *coefficiente di trazione* tiene conto del diverso coefficiente di aderenza al suolo dei cingoli o dei pneumatici e varia in relazione alla massa della macchina e al tipo di terreno su cui si opera. La forza di trazione alla barra di una macchina viene calcolata in base alla percentuale di peso gravante sull'asse di trazione ridotta dal coefficiente di trazione, che tiene conto delle condizioni di attrito fra macchina e terreno. Se la macchina non eccede in forza di trazione di un 20-30% il peso della massa da spostare, occorre ricorrere a mezzi più potenti.

L'*altitudine* influisce sull'efficienza dei motori, in particolare dei diesel, a causa della variazione di pressione dell'aria. Si calcola usualmente che sopra i 900 m di quota vi sia una perdita di efficienza dell'ordine dell'1% per ogni 100 m di quota.

11.4. Attività di base del piano degli scavi. — Il processo di scavo si compone di un insieme di attività ognuna delle quali viene appresso descritta brevemente, seguendo approssimativamente l'ordine cronologico.

Ispezione. Prima dell'avvio di un'attività di scavo, devono essere condotte le indagini opportune per determinare tipo e caratteristiche del suolo, la presenza di acqua e l'andamento del livello di falda, nonché le condizioni climatiche operative prevalenti; devono essere ottenuti i permessi relativi e vanno osservate le disposizioni che riguardano le altre attività di cantiere. I principali rischi concernono le condizioni sul perimetro di scavo (presenza di edifici, infrastrutture, ecc.) e la presenza di elementi impiantistici nel terreno quali tubazioni, cisterne, ecc., che possono richiedere opere di protezione specifiche. Rischi specifici sono inoltre costituiti dal rinvenimento accidentale di reperti archeologici, di ordigni inesplosi, di rifiuti pericolosi e tossici, ecc.

Pulizia. Riguarda l'asportazione di cespugli, piante e rifiuti dislocati nell'area di scavo.

Scorticatura. Riguarda l'asportazione degli stati superficiali del terreno per spessori variabili fra i 10 e i 20 cm e la preparazione allo scavo vero e proprio con l'eliminazione dello strato vegetale (erba, radici, ecc.).

Frantumazione. Può essere richiesta la frantumazione di rocce isolate mediante esplosivi o azioni meccaniche, prima che possa avere inizio lo scavo. L'operazione può essere ripetuta mano a mano che procede lo scavo.

Scavo di sbancamento. Prevede l'asportazione del terreno secondo gli schemi geometrici stabiliti. Le perforazioni e il montaggio degli elementi dell'impianto per la riduzione della falda inizia in questa fase, se necessario.

Opere accessorie allo scavo. Riguarda la realizzazione e la manutenzione di piste per il movimento delle macchine di cantiere e per tutte le opere di supporto alle operazioni di sbancamento.

Scavo a sezione obbligata. Riguarda il taglio del terreno per la posa di tubazioni, l'esecuzione di drenaggi o l'esecuzione di fondazioni a diretto contatto del terreno.

Dewatering. Riguarda l'asportazione dell'acqua dal terreno proveniente dalla falda, da infiltrazioni, pioggia, neve, ecc.

Protezione. Riguarda l'allestimento di dispositivi di protezione che prevengono i rischi di crolli e franamenti con conseguenze sui lavoratori, sui passaggi pubblici, sull'integrità delle opere eseguite e sulle condizioni operative di cantiere.

Riempimenti. Riguarda il riempimento di zone di scavo mediante il terreno originale o importato in cantiere, in adiacenza a opere realizzate.

Terrazzamenti. Riguardano la movimentazione di terreno e l'esecuzione di rilevati.

Compattamenti. Riguarda le operazioni svolte per la costipazione del terreno in adiacenza a costruzioni realizzate o per il ripristino di aree all'interno del cantiere.

Trasporti. Riguardano l'allontanamento in discarica o l'approvvigionamento di terreno o di ghiaie per riempimenti mediante automezzi.

Oltre alle operazioni canoniche le attrezzature di scavo sono chiamate a svolgere nel cantiere edile una serie di attività di supporto e di servizio tali da configurare le attrezzature anche mediante accessori opportuni quali, per esempio, macchine polivalenti per il trasporto, il vaglio del terreno, ecc.

Le operazioni di scavo, specie quelle che nel cantiere edile si configurano fra le opere al suolo, sono spesso interdipendenti con numerose altre attività, quali l'allestimento del cantiere, le demolizioni, le fondazioni, la preparazione di dispositivi di protezione. La produzione è quindi condizionata dalle modalità di coordinamento con le attività che si svolgono contemporaneamente nel cantiere. Lo scostamento dagli indici di produttività può essere si-

gnificativo, fino alla subordinazione delle attività di scavo ad altre attività (per esempio le fondazioni o la predisposizione di sbadacchiature) con conseguente ruolo di supporto e di servizio, che assegnano alle attrezzature di cantiere funzioni polivalenti difficilmente valutabili in termini di produttività ed efficienza.

Solo una pianificazione di dettaglio applicata al layout delle operazione e ai cicli di produzione permette di isolare le operazioni di scavo dalle altre attività o di valutarne le interazioni e di quantificare quindi produttività ed efficienza dei mezzi di produzione.

In tal senso possiamo distinguere quindi il processo di pianificazione delle operazioni di scavo in:

– *una fase preliminare di dimensionamento delle attività di scavo* in relazione all'insieme di condizioni e vincoli riconoscibili, in cui si procede a stimare le risorse utilizzabili sulla base delle caratteristiche medie note di efficienza e produttività;

– *una fase successiva di analisi di dettaglio e di controllo operativo* in cui si possono confrontare le osservazione dei cicli di produzione con le caratteristiche operative delle singole attrezzature utilizzate.

11.5. Documentazione. — La documentazione di progetto che interessa il cantiere di scavi si compone degli elaborati che contengono le disposizioni circa le attività da svolgere. Si tratta in primo luogo di elaborati grafici che descrivono quote e misure dello scavo, indicano la formazione di scarpate e le relative inclinazioni da rispettare, la realizzazione di piste di cantiere, localizzano aree e opere di rispetto; frequentemente le disposizioni riguardanti gli scavi si integrano.

Nella documentazione contrattuale si possono ritrovare:

– le prove riguardanti il terreno ottenibili attraverso saggi quali, per esempio, il saggio Proctor, l'analisi dei limiti di Atterberg, l'analisi granulometrica del terreno, ecc.;

– i criteri di misurazione delle opere di scavo che, per gli scavi di sbancamento, si rifanno, spesso al capitolato speciale d'appalto delle opere pubbliche, nel quale si utilizza principalmente il metodo delle sezioni ragguagliate per computare gli scavi realizzati.

Documentazione non cogente ma utile è quella relativa alla pianificazione dei lavori e alla gestione della qualità. La pianificazione delle attività si può articolare attraverso diversi livelli di dettaglio a partire dall'identificazione delle attività in un diagramma a barre, fino ad analizzare i cicli di produzione di cantiere e le interazioni che si producono fra le attività.

La documentazione relativa alla sicurezza riporta le specifiche previste per questa tipologia di opere. Nel piano della qualità sono specificate in primo luogo le modalità di controllo relative alle prestazioni dimensionali dell'attività di scavo e alle relative tolleranze.

11.6. Produzione. — La *produzione di una macchina di scavo* corrisponde alla quantità di materiale movimentato nell'unità di tempo. La *produzione oraria* si riferisce al volume di materiale in banco movimentato per ogni ciclo per la frequenza oraria dei cicli di scavo (numero di cicli/ora di una macchina). Il *valore teorico* della produzione oraria viene corretto da un *coefficiente di efficienza* che sintetizza condizioni operative aleatorie che intervengono nel ciclo di produzione.

La *produzione giornaliera* o la produzione settimanale costituiscono gli obiettivi del dimensionamento preliminare delle opere di scavo ed esprimono una misura della produzione rispetto al ciclo lavorativo giornaliero del cantiere, che permette di comprendere attività, tempi, uso delle risorse quali costi aggiuntivi derivanti dal ricorso a straordinari, ecc.:

$$\text{Produzione oraria reale } (m^3/h) = K(N_c \times P_{tc})\ (m^3/h) =$$
$$K[60\ (\text{min})/\ T_c\ (\text{min})] \times [\text{capacità benna} \times \text{fattore di riempimento}]\ (m^3/h)$$

11.6.1. Volume movimentato. — Dato progettuale di riferimento è il *volume del materiale in banco*. Aumento di volume in fase di scavo e riduzione di volume in fase di riempimento sono rappresentati da due coefficienti sempre riferiti al materiale in banco:

– il *coefficiente di rigonfiamento percentuale*, espresso come rapporto fra il volume sciolto e il volume in banco:

$$F_s = (1/C - 1)100$$
$$1/C = V_s/V_b$$

dove: F_s è il coefficiente di rigonfiamento; V_s è il volume di materiale sciolto; V_b è il volume di materiale in banco. In base al V_s vengono determinate la capacità di trasporto e il numero di unità di trasporto necessarie;

– il *fattore di carico C*, come rapporto fra *massa volumica* in banco e *massa volumica* sciolta:

$$C = M_s/M_b$$

dove C è il fattore di carico tale che $V_b = CV_s$; la relazione $M_b = M_s/C$ permette di individuare la massa in banco per mezzo della pesatura del materiale sciolto cavato;

– il *coefficiente di ritiro percentuale*, espresso come rapporto fra volume compattato e volume in banco:

$$F_c = (V_c/V_b - 1)\,100$$

dove: F_c è il coefficiente di ritiro percentuale; V_c è il volume di terreno compattato; V_b è il volume di materiale in banco.

In base a F_c possono essere determinati:

– le quantità di terreno in esubero rispetto al fabbisogno di V_c;
– il rapporto ottimale fra V_s e V_c in caso di terrazzamenti carreggiabili;
– la produzione di una unità di compattamento a partire da V_s o da V_b.

11.6.2. Massa movimentata. — Viene *calcolata o misurata*, in relazione alle limitazioni d'uso di motori e parti meccaniche dei mezzi di trasporto mediante pesatura, su bilancia pubblica, durante la fase di trasporto e di avvio in discarica del materiale asportato. È necessario quindi conoscere il peso a vuoto del mezzo di trasporto. Il volume del materiale scavato si ottiene dividendo la misura effettuata per la sua massa volumica (tab. 11.VI) e per mezzo della misura e del calcolo in cantiere della porzione di volume di scavo effettuato moltiplicato per il peso volumico del materiale.

Tab. 11.VI. — Fattori di carico e di rigonfiamento.

Materiale	Massa volumica del materiale in banco (kg/m³)	Massa volumica del materiale sciolto (kg/m³)	Fattore di carico C	Fattore di rigonfiamento percentuale F_s
Argilla	1719	1238	0,72	39
Argilla e ghiaia asciutta	1779	1281	0,72	39
Argilla e ghiaia bagnata	2194	1580	0,72	39
Carbone antracitico	1446	1070	0,74	35
Carbone bituminoso (torba)	1280	947	0,74	35
Terra, limo asciutti	1541	1233	0,8	25
Terra, limo bagnati	2016	1613	0,8	25
Ghiaia asciutta	1838	1636	0,89	12
Ghiaia bagnata	2016	1794	0,89	12
Gesso	3024	1724	0,57	75
Minerali di ferro 60%	3474	2606	0,75	33
Minerali di ferro 50%	3166	2375	0,75	33
Minerali di ferro 40%	2846	2135	0,75	33
Calcare	2668	1601	0,6	67
Sabbia asciutta	1779	1583	0,89	12
Sabbia bagnata	2134	1899	0,89	12
Arenaria	2431	1580	0,65	54
Scorie di forno	1601	1297	0,81	23
Roccia eruttiva	3083	1881	0,61	64

11.6.3. Ciclo di lavoro di una macchina. — La durata di un ciclo di produzione viene definita in relazione al tempo necessario a svolgere le operazioni elementari che compongono il ciclo. La durata di un ciclo può essere riferita sia alla media dei valori delle misure ottenute

empiricamente con un cronometro sia a misure più raffinate risultanti dall'analisi statistica di campioni di dati.

Il lavoro di cronoanalisi viene riferito alla scomposizione del ciclo di produzione nelle attività elementari delle risorse utilizzate.

11.6.4. Cicli di lavoro teorici e reali. — I dati teorici costituiscono la base per l'analisi dei cicli di produzione; organizzati in tabelle appositamente fornite dai produttori, si riferiscono a misure condotte sotto ipotesi semplificative che riguardano fattori ambientali, organizzativi, tecnici e umani. Vi sono numerosi diversi fattori che condizionano la produzione e concorrono a determinare l'efficienza dei processi. I dati teorici sono perciò ponderati con coefficienti di efficienza.

11.6.5. Scomposizione nelle durate elementari. — Per poter stimare le quantità di materiale che una unità di scavo è in grado di movimentare occorre valutare:

– il numero dei *cicli eseguiti* (N_c) in un'ora di lavoro;
– la *produzione media* (P_u), o quantità media movimentata per ciascun ciclo.

Il numero di cicli, al 100% di efficienza, viene ottenuto dividendo i 60 minuti per la durata media di un ciclo (T_c), misurato in minuti e in frazioni decimali di minuto, comprendente i tempi di attesa e i tempi morti:

$$N_c = 60\ (\text{min})\ /\ T_c\ (\text{min})$$

oppure

$$\text{Produzione}\ (\text{m}^3/\text{h}) = \text{frequenza oraria} \times \text{produzione unitaria media per ciclo} = N_c \times P_u\ (\text{m}^3/\text{h})$$

La tab. 11.VII riporta alcuni esempi di stima della durata di un ciclo.

Le sequenze di attività svolte da ogni macchina sono riconducibili a combinazioni di attività elementari, svolte che comprendono:

– il carico: il tempo di carico dipende dalla produttività della macchina;
– il trasporto: viene effettuato secondo modalità differenti e nel caso sia un camion a trasportare il materiale, il tempo di trasporto dipende da:
– distanza del trasporto;
– vita media del camion a pieno carico;
– stato delle piste del cantiere;
– stato della circolazione stradale;
– lo scarico: il tempo di scarico dipende da fattori quali lo stato del cantiere, la disponibiltà di spazio per le manovre, ecc.;
– il ritorno al punto di carico: i viaggi senza carico sono generalmente più rapidi dei viaggi a pieno carico;
– le attese e le manovre: i tempi di attesa sono relativi generalmente al numero di camion utilizzati per il trasporto del materiale o a operazioni che vengono svolte contemporaneamente allo scavo. Si tratta di tempi suddivisi in:
– tempi fissi che variano da cantiere a cantiere e vanno determinati in relazione a un'analisi dettagliata delle manovre;
– tempi variabili (tempi di trasporto, di andata e ritorno) essenzialmente espressi in funzione della vita media delle macchine, che vanno rilevati per ogni operazione.

11.6.6. Coefficiente di efficienza. — La *prestazione di un'attrezzatura* viene misurata in costo unitario di materiale movimentato (€/m^3), misura che tiene conto della produzione reale e dei costi annessi; maggiori prestazioni si hanno a costi di produzione oraria inferiori per una maggiore capacità di produzione oraria effettiva.

Il coefficiente di efficienza (k) permette di determinare la produzione reale (P_r) di una macchina tenendo in conto:

Tab. 11.VII. — Esempio di stima della durata di un ciclo.

Materiale	Escavatore idraulico	Pala caricatrice
Terreni leggeri	0,40 min	0,40 min
Terreni compatti	0,50 min	0,45 min
Roccia sparata	0,65 ÷ 1 min	0,50 min
Blocchi rocciosi	1 min e più	0,60 min e più

– dei parametri legati alle modalità organizzative e di funzionamento dell'impresa (gestione e manutenzione del parco attrezzature) o del cantiere;
– di una produzione teorica (P_{th}) dipendente dai parametri propri della macchina e forniti dal fabbricante:

$$P_r = k \times P_{th} \quad \text{con} \quad k < 100\%$$

Le *tabelle, abachi o curve* indicate nella documentazione del produttore sono basate su di una efficienza ideale (k = 100%) ricavata su saggi di laboratorio e in cantieri sperimentali (obiettivo: misurare l'evoluzione del prototipo e stabilire dei confronti).

Imprevisti e fattori contingenti di processo riducono i tempi di utilizzo effettivo della macchina in rapporto ai tempi di utilizzo teorici. Per un'ora di funzionamento teorico il lavoro effettivo può corrispondere a 50 min. In tal caso k = 50/60 = 83%.

Fra i parametri che fanno variare il coefficiente k alcuni sono fissi:

– potenza di una macchina;
– tipo di trasmissione al suolo della potenza (cingolo o gomma);
– velocità di spostamento;
– tempi particolari di funzionamento, tipici di ciascuna macchina.

Altri parametri sono variabili e possono essere presi in considerazione secondo i casi:

– adeguatezza della macchina e del suo equipaggiamento al lavoro richiesto (per esempio la profondità dello scavo in relazione alla profondità raggiungibile dalla macchina);
– tipo di suolo da manipolare (estrazione, fattore di riempimento);
– durata dei cicli;
– stato dei cantieri;
– condizioni di lavoro per l'operatore in macchina;
– disponibiltà e caratteristiche reali della macchina al momento di utilizzo (qualità della manutenzione).

La tab. 11.VIII mette in relazione il fattore di efficienza k con livelli di difficoltà di lavoro dati da combinazioni variabili di parametri. Il pregio è il riferimento a un dato aggregato, k, delle variazioni delle condizioni esterne; il difetto è che nulla dice di come variano i cicli di produzione.

Le tabb. 11.IX e 11.X indicano, rispettivamente, i fattori di riempimento per alcuni tipi di materiale e l'equivalenza fra il fattore di efficienza k e il lavoro effettivo.

11.6.7. Gestione dell'impiego di compattatori. — Le modalità di compattamento vanno adattate alle condizioni meteorologiche e ai diversi cambiamenti di tenore idrico rilevabili nel terreno.

Tab. 11.VIII. — Coefficiente di efficienza per una pala idraulica.

Condizioni di lavoro	k (%)
1. Condizioni di scavo facile (terra non compattata, sabbia, ghiaia, pulitura di canali). Profondità di scavo inferiore o uguale al 30% di quella massima raggiungibile dalla macchina. Angolo di rotazione della torretta inferiore ai 30°. Scarico laterale in cumulo. Ostacoli inesistenti. Buon operatore.	95 ÷ 100
2. Condizioni di scavo medio (terra compattata, argilla dura e secca, terreni con contenuto di roccia inferiore al 25%). Profondità di scavo pari al 40% di quella massima raggiungibile con la macchina. Angolo di rotazione della torretta pari a 60°. Luogo di scarico ampio. Pochi ostacoli.	83
3. Condizioni di scavo medio-difficili (terreno duro e compatto, con contenuto roccioso superiore al 50%). Profondità di scavo pari al 50% di quella massima raggiungibile con la macchina. Angolo di rotazione della torretta pari a 90°. Carico su camion molto vicino all'escavatore.	75
4. Condizioni di scavo difficili (terreno duro e compatto, con contenuto roccioso del 75%). Profondità di scavo pari al 75% di quella massima raggiungibile con la macchina. Angolo di rotazione della torretta pari a 120°. Trincea puntellata. Piccola area di scarico. Lavoro in prossimità di tubazioni.	65
5. Condizioni di scavo molto severe (arenaria, scisti, certi calcari, ghiaccio duro). Profondità di scavo superiore al 75% di quella massima raggiungibile dalla macchina. Angolo di rotazione della torretta pari a 120°. Carico della benna in un cunicolo. Scarico in uno spazio ristretto che richiede lo sbraccio massimo. Personale e ostacoli nell'area di lavoro.	55

TAB. 11.IX. — FATTORI DI RIEMPIMENTO PER ALCUNI TIPI DI MATERIALE.

Materiale	R (%)	
	Escavatore idraulico	Pala caricatrice
Terreni leggeri	100	90 ÷ 110
Terreni compatti	95	85 ÷ 95
Roccia sparata	85	70 ÷ 80
Blocchi rocciosi	70	50 ÷ 70

TAB. 11.X. — EQUIVALENZA FRA IL FATTORE DI EFFICIENZA K E IL LAVORO EFFETTIVO.

Efficienz. oraria	Mediocre	Media	Normale	Buona	Molto buona	Teorica
k (%)	0,58	0,66	0,75	0,83	0,92	1
Lavoro effettivo (min/h)	35	40	45	50	55	60

I parametri che devono essere presi in considerazione per la scelta della risorse da utilizzare riguardano:

– le caratteristiche del terreno;
– l'attrezzatura di compattamento;
– le modalità operative: spessore compattato, il rapporto Q/S (spessore unitario di compattamento) e la velocità di spostamento della macchina.

In generale alcune condizioni possono facilitare le operazioni di compattamento:

– un tenore di acqua ottimale; la misurazione viene effettuata per mezzo dal saggio Proctor;
– il costipamento progressivo per strati di debole spessore e l'uso di attrezzature adatte alle caratteristiche del terreno affinché l'effetto sia assicurato in tutto lo strato di terreno da costipare. La valutazione delle caratteristiche del terreno è necessaria per un'idonea scelta del tipo di macchina da utilizzare. La mancanza di indicazioni al riguardo può comportare nel caso specifico che l'attrezzatura scelta non possa essere utilizzata convenientemente;
– i compattatori troppo pesanti producono un compattamento debole su terreni sciolti;
– i compattatori con rulli a profilo scolpito non sono efficaci, se non utilizzati in combinazione con altre macchine, su terreni poco plastici;
– i compattatori vibranti non riescono a compattare suoli che contengono grossi elementi.

Per lavori di costipamento di entità rilevante è privilegiato l'uso di:

– compattatori vibranti con rulli scolpiti (unghiati, ecc.) adatti a suoli coerenti, plastici o su terreni a granulometria fine. La presenza dei denti produce un effetto di compattamento a partire dal fondo dello strato. I tempi che in genere sono necessari allo svolgimento di queste opere vengono riferiti alla velocità di spostamento delle macchine, mediamente valutabile in: 12 km/h di velocità massima; da 3 a 5 km/h per velocità media di lavoro. Per l'analisi del ciclo di lavoro va considerato che le operazioni di compattamento assicurano allo stesso tempo lo spargimento del terreno;
– compattatori vibranti a un solo cilindro (a profilo liscio o scolpito) sono utilizzati a complemento del lavoro degli apripista; vengono rimorchiati da un trattore che sparge il terreno con una lama. Nel caso dell'utilizzo di compattatori con rulli molto scolpiti occorre procedere al compattamento successivo dello strato superficiale per lisciare la superficie del terreno (per esempio con pneumatici o con rulli lisci).

Per lavori di dimensioni più modeste vengono impiegati:

– compattatori su pneumatici, che risultano efficaci per suoli argillosi, sabbiosi, composti di ghiaia fine e media. Sono molto mobili e hanno in genere una velocità massima di 6 km/h e velocità medie di lavoro comprese fra 3,5 e 5 km/h;
– compattatori monocilindrici o in tandem, indicati per le finiture di strade con superfici stabilizzate o asfaltate e per finiture di lavori superficiali. Hanno una velocità massima pari a 3 km/h e una velocità media di 2 km/h;
– compattatori vibranti automotori, che vengono impiegati particolarmente su suoli incoerenti. Hanno una velocità massima di 3 km/h e una velocità media di lavoro di 2 km/h.

Per lavori nei pressi di edifici o di modesta entità, come spesso capita nei cantieri di costruzioni edili, ossia di lavori per compattamento di piccole trincee o di riporti di terreno presso muri, frequentemente con difficoltà di accesso da parte di macchine ingombranti, viene privilegiato l'uso di:

– compattatori a guida manuale a uno o a due cilindri; esercitano pressioni da 5 a 10 kN per m^2, sono facilmente trasportabili e possono lavorare su pendenze dal 25 al 30%. Hanno una velocità media di esercizio che arriva fino a 4 km/h;
– placche vibranti (classe PQ): il cilindro è rimpiazzato da una placca che subisce un movimento alternativamente verticale e orizzontale. Utilizzate manualmente, hanno una velocità media di esercizio che arriva fino a 2 km/h.

11.6.8. GESTIONE E CONTROLLO DELLE OPERAZIONI. — L'efficacia del compattamento viene sottoposta a controllo:

– misurando la compattezza ottenuta; i saggi sono abbastanza complessi da realizzare, lunghi e non sempre attuabili per limiti di tempo e per i costi non trascurabili;
– calcolando periodicamente il rapporto Q/S in m^3/m^2, per una durata di lavoro assegnata (in ore, mezze giornate, o giornate), essendo Q il volume di suolo compattato ed S la superficie coperta dalla macchina o dal sistema di macchine, verificati gli spessori di compattamento associati a ogni macchina.

Q rappresenta il ritmo di produzione della squadra di compattamento e può essere valutato:

– mediante misura dopo il compattamento;
– per stima a partire dal numero, della capacità di trasporto utile, e sulla base della durata del ciclo constatato per le macchine da trasporto.

S è il prodotto della larghezza L del compattatore (larghezza di appoggio fornita dal costruttore) per la distanza percorsa D (in km) nella stessa unità di tempo utilizzata per misurare Q; D in un primo tempo può essere stimata a partire dalla velocità media prevista per la macchina da impiegare.

Il numero di applicazioni di carico N (uguale al numero di passaggi n per un compattatore monocilindrico) si ottiene dividendo e (spessore realmente compattato) per lo spessore teorico di compattamento Q/S. Tale valore teorico si riferisce all'ipotesi che lo sforzo di compattamento sia uniformemente ripartito su tutta la superficie considerata.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

[1] UNI EN 474-1. Macchine movimento terra. Sicurezza. Requisiti generali, dicembre 1997.
[2] UNI EN 474-2. Macchine movimento terra. Sicurezza. Requisiti per apripista, dicembre 1997.
[3] UNI EN 474-3. Macchine movimento terra. Sicurezza. Requisiti per caricatori, dicembre 1997.
[4] UNI EN 474-4. Macchine movimento terra. Sicurezza. Requisiti per terne, dicembre 1997.
[5] UNI EN 474-5. Macchine movimento terra. Sicurezza. Requisiti per escavatori idraulici, dicembre 1997.
[6] UNI EN 474-6. Macchine movimento terra. Sicurezza. Requisiti per autoribaltabili (dumper), dicembre 1997.
[7] UNI EN 474-7. Macchine movimento terra. Sicurezza. Requisiti per motoruspe, marzo 2000.
[8] UNI EN 474-8. Macchine movimento terra. Sicurezza. Requisiti per escavatori motolivellatrici, marzo 2000.
[9] UNI EN 474-9. Macchine movimento terra. Sicurezza. Requisiti per posatubi, marzo 2000.
[10] UNI EN 474-10. Macchine movimento terra. Sicurezza. Requisiti per scavafossi, marzo 2000.
[11] UNI EN 474-11. Macchine movimento terra. Sicurezza. Requisiti per compattatori di rifiuti, marzo 2000.
[12] UNI EN 500-1. Macchine mobili per costruzioni stradali. Sicurezza. Requisiti generali, febbraio 1997.
[13] UNI EN ISO 2860. Macchine movimento terra. Dimensioni minime di accesso, settembre 2000.
[14] UNI EN ISO 2867. Macchine movimento terra. Mezzi d'accesso, dicembre 2000.