

Corso di

MECCANIZZAZIONE AGROFORESTALE

Prof. D. Pessina – a.a. 2021/22

Problema-tipo n. 2

Ottimizzare l'accoppiamento tra un aratro ed un trattore da 80 kW a 4RM, per la lavorazione di un terreno di medio impasto tendente al pesante, con profondità di lavoro di 20 cm ed una velocità di avanzamento di 6 km/h.

Obiettivo del problema: definire il numero (ovviamente intero...) di corpi dell'aratro al fine di svolgere l'operazione in sicurezza, con esito positivo di tutte le verifiche

Priorità delle verifiche: trattandosi di una lavorazione profonda del terreno, in questo caso un'aratura, il **fattore limitante** per questa operazione risulta essere l'**aderenza**. Quindi:

- 1. A ≥ T
- 2. Pu ≥ Pm.o.
- 3. Stabilità

SVOLGIMENTO

Dati:

Pmot = 80 kW Trattore = 4 RM Profondità di aratura = 20 cm Velocità di avanzamento = 6 km/h = 1,66 m/s

VERIFICA 1 : A ≥ T

L'aderenza dipende principalmente da due variabili:

- il peso aderente del trattore
- l'efficacia del contatto tra terreno e organi di propulsione.

Il peso aderente del trattore deriva dal suo peso totale; quest'ultimo può essere calcolato considerando il rapporto peso/potenza. In questo caso:

G = 80 kW * 550 N/kW = 44000 N

poichè 4 RM: G = Ga

Si può calcolare l'aderenza adottando la formula semplificata:

$$A = Ga * (Ca - Cr)$$

Ca = esprime l'efficacia del contatto tra pneumatici e terreno; il testo del problema non specifica condizioni particolari, per cui si presume che il terreno sia in tempera, ovvero in una condizione ottimale per la sua lavorazione (umidità compresa tra 12 e 18 %). Pertanto si può considerare il valore standard, ovvero Ca = 0,5

Cr = identifica la difficoltà del trattore ad avanzare. Di nuovo, il testo del problema non specifica condizioni particolari, per cui si presume che sulla superficie del terreno siano presenti residui della coltura precedente (ad es. stocchi di mais, oppure stoppie di grano) e che l'umidità superficiale sia simile a quello dello strato lavorato (cioè tra il 12 e il 18 %), per cui si può considerare un valore standard, cioè **Cr** = 0,07.

Quindi:

Ora, bisogna considerare il passaggio chiave di questo problema: l'ottimizzazione dell'accoppiamento è soddisfatta quando tutta l'Aderenza (A) che il trattore è in grado di offrire è sfruttata dall'aratro, che oppone una Trazione (T) di pari entità. Quindi:

A = T

dove T di calcola con la formula:

$$T = p * I * \rho * n * \beta$$

dove:

- p = profondità di lavoro (è un dato agronomico) e si esprime di solito in cm;
- I = è la larghezza di lavoro di un singolo corpo dell'aratro (non si tiene conto della parziale sovrapposizione del lavoro dei diversi corpi, in caso di aratro polivomere); si esprime di solito in m, e per gli aratri di tipo tradizionale evidenzia un rapporto fisso con la profondità della lavorazione: I = v2 * p:
- ρ = è la resistenza del terreno alla lavorazione, cioè al suo dirompimento. Si esprime in N / (m * cm) (o anche talvolta, il che è la stessa cosa, in N / dm²). Per un terreno di medio impasto tendente al pesante: 900 N / m * cm;
- n = numero di corpi dell'aratro;
- $\beta = \dot{e}$ il coefficiente di variabilità della consistenza del terreno. Per le lavorazioni profonde: $\beta = 1,2$.

Per cui, ricordando che A = T = 18920 N:

18920 N = 20 cm *
$$(V2 * 0.2 \text{ m}) * 900 \text{ N} / (m * cm) * n * 1.2 = 6109 \text{ N} * n \rightarrow n = 18920 \text{ N} / 4752 \text{ N} = 3.09$$

Dovendo (ovviamente...) arrotondare ad un numero intero, sarà possibile ipotizzare l'impiego di un'aratro a 3 corpi (cioè trivomere).

ATTENZIONE!

In questo caso, il risultato è stato arrotondato ad un numero intero, per difetto, e così dovrebbe avvenire se il primo decimale è da 0 a 4. Viceversa, se il primo decimale fosse da 5 a 9, il risultato andrebbe arrotondato per eccesso, ma in questo caso l'aderenza del trattore tal quale non sarebbe più sufficiente per vincere la trazione richiesta dall'aratro. In tal caso, occorre quindi aumentare l'aderenza, ricorrendo ai metodi illustrati nella dispensa relativa al dimensionamento.

Quindi, alla luce di questa approssimazione, bisogna ricalcolare la trazione T effettiva:

VERIFICA 2: Pu ≥ Pm.o.

Calcolo della Potenza richiesta dalla Macchina Operatrice (Pm.o.)

In generale, la potenza richiesta dalla macchina operatrice comprende due componenti: la potenza che il trattore eroga alla pdp per far funzionare gli organi lavoranti (Ppdp), e quella necessaria al traino, ovvero la cosiddetta "Potenza al Gancio" (Pg)

La Potenza al Gancio è calcolata come la trazione (resistenza all'avanzamento) per la velocità, per un coefficiente identificato con la lettera "k". In questo caso, trattandosi di una lavorazione effettuata ad una velocità inferiore a 20 km/h si considera k = 1, poiché l'attrito di primo distacco e l'accelerazione per raggiungere la velocità di lavoro sono trascurabili, per cui:

ATTENZIONE!

La Potenza al gancio mediante l'equazione Pg = T * v *k fornisce un risultato in Watt (W) non in kilowatt (kW). È necessario poi convertire i Watt in kiloWatt

Riassumendo, le richieste di potenza da parte della macchina operatrice sono: P m.o. = Ppdp + Pg

Calcolo della Potenza Utile (Pu) del trattore

È necessario effettuare il bilancio dinamico, che comprende le seguenti 5 voci:

- 1. η autodislocamento: l'umidità del terreno è ottimale; la superficie risulta essere compatta e con residui della coltura precedente. η = 0,9;
- 2. η trasmissione: vista la classe di potenza del trattore è possibile ipotizzare la presenza di un power shift di gamma: η = 0,85;
- 3. η presa di potenza: non è in funzione: $\eta = 1$;
- **4.** η impianto idraulico: vista la classe di potenza del trattore, l'impianto idraulico può essere di tipo tradizionale: η = 0,96;
- 5. η slittamento: trattandosi di un'aratura per un trattore 4RM al fine di massimizzare la disponibilità di potenza si considera un η = 0.85.

Il Rendimento globale (ng) dunque si può calcolare con i due metodi indicati:

Metodo matematico:

```
\eta_g = 0.9 * 0.85 * 1 * 0.96 * 0.85 = 0.62
```

- Metodo degli "impegni di potenza"

```
\eta_g = 100\% - (10\% + 15\% + 0\% + 4\% + 15\%) = 100\% - 44\% = 56\% \rightarrow 0,56
```

Nota:

Avendo applicato due metodi di calcolo diversi, logicamente i risultati sono diversi. Tuttavia, poichè anche i valori dei singoli rendimenti sono stati stimati, la differenza che emerge tra i due risultati può essere considerata accettabile, per cui i due metodi possono essere considerati equivalenti.

Senza dubbio, il metodo matematico è quello più rigoroso ed esatto, ma il suo calcolo non è immediato (e non può essere mnemonico), come invece lo è quello degli impegni di potenza.

Considerando η_g = 0,62 (primo metodo) la potenza utile Pu del trattore è:

Pu = Pmot *
$$\eta_g$$
 = 80 kW * 0,62 = 49,6 kW

ovvero: Pu > Pm.o

Attenzione!

Volendo ottimizzare lo sfruttamento della potenza utile Pu, si potrebbe ipotizzare un incremento di velocità di avanzamento, in modo che la Potenza al gancio sia equivalente a quella utile del trattore. Pertanto:

49600 W = 18328 N * v * 1
$$\rightarrow$$
 vmax = 49600 W / 18328 N = 2,7 m/s = 9,7 km/h

Ovviamente, la velocità massima possibile di lavoro vmax deve essere compatibile con un'accettabile qualità della lavorazione. Nel caso dell'aratura, per terreni dell'areale del Mediterraneo si consiglia di non superare 9-10 km/h.

VERIFICA DI STABILITÀ

Poiché l'aratro durante le svolte fine campo e in trasporto è sollevato all'attacco a 3 punti gestito dal sollevatore, il principio (*semplificato*) da applicare è che la massa della m.o. portata all'attacco a 3 punti NON deve eccedere 1/3 della massa del trattore, ovvero:

In termini di robustezza, non tutti gli aratri sono uguali. In linea di massima, si ipotizza una massa specifica (espressa come kg / corpo) compresa tra i 300 e i 700 kg / corpo. Ovviamente più l'aratro è robusto, più sarà adatto a lavorare terreni difficili.

In questo caso, trattandosi di un terreno di medio impasto tendente al pesante, è possibile considerare un modello di robustezza medio-elevata, ovvero da 600 kg / corpo:

$$M_{m.o.}$$
 = 600 kg / corpo * 3 corpi = 1800 kg
1/3 M_{tratt} = 44000 N / 9,81 / 3 = 1495 kg

La condizione imposta NON risulta verificata, per cui l'insieme trattore-m.o. non fornisce sufficienti garanzie di stabilità.

Pertanto, si può ipotizzare di incrementare la massa del trattore mediante zavorratura, calcolandone la quantità necessaria per soddisfare la verifica di stabilità, accertandosi poi la zavorratura stessa che non ecceda il limite del 30%. Quindi:

$$M_{tratt+zav}$$
 = 1800 kg * 3 = 5400 kg e M_{tratt} = (44000 N / 9,81) = 4485 kg zav = $M_{tratt+zav}$ - M_{tratt} = 5400 kg - 4485 kg = 915 kg % zav = (zav / M_{tratt}) * 100 = (915 kg / 4485 kg) * 100 = 20,4% Ok

Per il miglior risultato, è conveniente che tutta la zavorra venga collocate a sbalzo sulla parte anteriore del trattore.