UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE E AMBIENTALI
PRODUZIONE, TERRITORIO, AGROENERGIA

Corso di

MECCANIZZAZIONE AGROFORESTALE

Prof. D. Pessina – a.a. 2021/22

Problema-tipo n. 3

Ottimizzare l'accoppiamento di un trattore che lavora con un aratro a 3 corpi alla profondità di 35 cm in un terreno di medio impasto leggermente bagnato, con residui della coltura precedente in superficie, alla velocità di 8 km/h.

Obiettivo del problema: dimensionare il trattore in modo da ottimizzare le sue performance.

Priorità delle verifiche: trattandosi di una lavorazione profonda del terreno (un'aratura), il fattore limitante per questa operazione risulta essere l'**Aderenza**.

Quindi l'ordine delle verifiche da eseguire sarà:

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

SVOLGIMENTO

Dati:
Corpi aratro = 3
Profondità di lavorazione = 35 cm
Velocità di avanzamento = 8 km/h = 2,22 m/s

Dovendo eseguire un'aratura, si considero un trattore 4RM

VERIFICA 1 : A ≥ T

Si inizia con il calcolo della trazione T:

$$T = p * l * \rho * n * \beta = 35\ cm * (\sqrt{2} * 0{,}35m) * 700\ N/(m*cm) * 3 * 1{,}2 = 43657\ N$$

dove:

- p = profondità di lavoro (è un dato agronomico) e si esprime di solito in cm;
- l = 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: $l = \sqrt{2} * p$;

- 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: 700 N / m * cm;
- n = numero di corpi dell'aratro
- β = è il coefficiente di variabilità della consistenza del terreno. Per le lavorazioni profonde β = 1,2.

Il passaggio chiave per ottimizzare il dimensionamento è porre:

A = T

L'aderenza dipende da due variabili principali:
- il peso aderente del trattore;
- l'efficacia del contatto tra terreno e organi di propulsione.

Trattandosi di un trattore a 4RM la formula standard può essere raccolta in:

A = (Ga * Ca) - (G *Cr) **ma per 4 RM Ga = G** → **A = Ga * (Ca - Cr)**

dove:
Ca = esprime l'efficacia del contatto tra pneumatici e terreno. Il problema specifica che il terreno da lavorare è "leggermente bagnato", per cui **Ca = 0,45**
Cr = identifica la difficoltà del trattore ad avanzare. Trattandosi di terreno leggermente bagnato **Cr = 0,1**

Il peso del trattore è l'incognita, e può essere calcolato applicando la formula inversa dell'aderenza, ricordando che A = T = 43657 N:

Ga = A / (Ca - Cr) = 43657 N / (0,45 – 0,1) = 124734 N (= 12715 kg)

Considerando il rapporto peso/potenza Rpp per trattori a 4 RM, è possibile risalire alla potenza del trattore:

Pmot = 124734 N / 550 N/kW = 226,8 kW (= 308 CV)

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:

Pg = T * v * k = 43657 N * 2,22 m/s * 1 = 96919 W = 96,9 kW

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

Pm.o. = 0 kW + 30,4 kW = 96,9 kW

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 leggermente superiore a quella tipico dello stato di tempera; la superficie sarà parimenti leggermente più umica del normale, e presumibilmente con residui della coltura precedente. **η = 0,88**;
2. **η trasmissione**: vista la classe di potenza del trattore è possibile ipotizzare la presenza di un CVT moderno: **η = 0,80**;
3. **η presa di potenza**: non è in funzione: **η = 1**;
4. **η impianto idraulico**: vista la classe di potenza del trattore, l'impianto idraulico è sicuramente di tipo Load Sensing: **η = 1**;
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 (η_g) dunque si può calcolare con i due metodi indicati:

- Metodo matematico:
  η_g = 0,88 * 0,80 * 1 * 1 * 0,85 = 0,60
- Metodo degli "impegni di potenza":
  η_g = 100% - (12% + 20% + 0% + 0% + 15%) = 100% - 47% = 55% → 0,53

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 = 0,60 (primo metodo) la potenza utile Pu del trattore è:

Pu = Pmot * η_g = 226,8 kW * 0,60 = 136,1 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:

Pu = Pg = T * v * k

136100 W = 43657 N * v * 1 → vmax = 136100 W / 43657 N = 3,1 m/s = 11,2 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, per cui in questo caso non potrà verosimilmente essere sfruttata interamente la potenza utile Pu del trattore.

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:**

$$M_{m.o.} \leq 1/3\ M_{tratt}$$

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, è possibile considerare un modello di robustezza media, ovvero da 500 kg / corpo:

$M_{m.o.}$ = 500 kg / corpo * 3 corpi = 1500 kg
1/3 M_{tratt} = 124734 N / 9,81 / 3 = 4238 kg

La condizione imposta è ampiamente verificata, per cui l'insieme trattore-m.o. fornisce ottime garanzie di stabilità.

A tale proposito, avendone la possibilità, potrebbe essere comunque proficuamente considerato l'impiego di un aratro ribusto da 700 kg / corpo, con il vantaggio di poter lavorare, con il cantiere così ipotizzato, qualsiasi tipo di terreno. Infatti, in questo nuovo caso:

$M_{m.o.}$ = 700 kg / corpo * 3 corpi = 2100 kg
1/3 M_{tratt} = 124734 N / 9,81 / 3 = 4238 kg

La condizione imposta rimane comunque ampiamente verificata.