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. 1

Dimensionare il trattore da accoppiare ad una seminatrice di precisione pneumatica a 8 file, che oppone una resistenza all'avanzamento di 600 N/fila e richiede un assorbimento di potenza alla pdp di 0,8 kW/fila. Considerare una velocità di avanzamento di 8 km/h ed una massa specifica della m.o. di 100 kg/fila.

Obiettivo del problema: ottimizzare il dimensionamento di un trattore in grado di svolgere la lavorazione descritta, accertandosi che tutte le 3 verifiche (di potenza, di aderenza e di stabilità) risultino positive.

Priorità delle verifiche: non trattandosi di una lavorazione che richiede un'elevata forza di trazione, si considera come **fattore limitante la disponibilità di potenza utile (Pu)** del trattore per far fronte a quella richiesta dalla m.o. (**Pm.o.**).

Quindi, l'ordine delle verifiche da eseguire sarà:

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

SVOLGIMENTO

Dati:
File della seminatrice di precisione pneumatica = 8
Trazione specifica richiesta dalla seminatrice = 600 N / fila
Potenza specifica richiesta alla pdp = 0,8 kW / fila
Velocità di avanzamento del cantiere trattore-operatrice = 8 km/h = 2,2 m/s

Nota: in questi problema sono presenti due dati che si riferiscono a delle "specificità", ovvero a determinati parametri unitari della m.o. (in questo caso, la "fila")

VERIFICA 1 : Pu ≥ Pm.o.

In questo caso, la potenza richiesta dalla macchina operatrice comprende due componenti, ovvero quella fornita dal trattore alla pdp (**Ppdp**) per far funzionare gli organi lavoranti della seminatrice, e quella necessaria al traino della seminatrice, ovvero la cosiddetta potenza al gancio (**Pg**), cioè:

Pmo = Ppdp + Pg

Pertanto, vengono considerati i due dati "specifici", come segue:

Ppdp = 0,8 kW / fila * 8 file = 6,4 kW

La potenza al gancio invece è calcolata in generale come la trazione (resistenza all'avanzamento) per la velocità (m/s) per un coefficiente identificato con la lettera "k" che ha valori compresi tra 1 e 1,5.
In questo caso, trattandosi di un traino ad una velocità inferiore a 20 km/h, k =1 poiché il surplus di potenza necessario per il raggiungimento della velocità di lavoro (così come l'attrito di primo distacco) possono essere considerati trascurabili, ovvero:

Pg = T * v * k e **T = 600 n / fila * 8 file = 4800 N**

Pg = 4800 N * 2,22 m/s * 1 = 10656 W = 10,7 kW

ATTENZIONE!
Nell'equazione Pg = T * v *k il risultato è espresso in Watt (W) non in kiloWatt (kW). È necessario poi convertire i Watt in kiloWatt.

Per cui :

Pm.o. = 6,4 kW + 10,7 kW = 17,1 kW

La potenza globale richiesta dalla seminatrice è di 17,1 kW.

Calcolo della potenza del trattore

Poiché bisogna ottimizzare il dimensionamento del trattore, la condizione base di partenza è che la richiesta di potenza da parte della seminatrice sia perfettamente controbilanciata dalla potenza utile offerta dal trattore, ossia:

Pm.o. = Pu

È quindi necessario allora effettuare il bilancio dinamico, che comprende 5 voci:

- **η autodislocamento**: poiché bisogna effettuare una semina, l'umidità del terreno è ottimale, ma la sua superficie è peraltro molto soffice, perché si tratta di un letto di semina, per cui il trattore affonderà in modo significativo. Si può ipotizzare un **rendimento di 0,85;**
- **η trasmissione**: a fronte di una richiesta di potenza da parte dell'operatrice di 17,1 kW, la lavorazione non risulta essere particolarmente impegnativa, per cui si può considerare senza dubbio l'uso di un trattore con trasmissione di tipo meccanico tradizionale, con **rendimento di 0,9;**
- **η presa di potenza**: è in funzione e in efficienza: **rendimento 0,95;**
- **η impianto idraulico**: tenendo conto dell'esigua richiesta di potenza, il trattore da impiegare non sarà di potenza elevata, per cui l'impianto idraulico presente sarà di tipo tradizionale, co la pompa sempre in funzione: **rendimento 0.96;**
- **η slittamento**: la lavorazione non è particolarmente gravosa in termini di trazione, ma il terreno è cedevole: **rendimento 0.93.**

Calcolo rendimento globale (η_g)

- Metodo con moltiplicazione dei singoli rendimenti:
  η_g = 0,85 * 0,9 * 0,95 * 0,96 * 0,93 = 0,65

- Metodo con somma degli impegni di potenza:
  η_g = [100% - (15% + 10% + 5% + 4% + 7%)] = 59% → 0,59

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 allora η_g= 0,65 la potenza motore del trattore dovrà essere:

Pmot = Pu/ η_g → Pmot = 17,1 kW / 0,65 = 26,3 kW → ≈ 36 CV

VERIFICA 2 : A ≥ T

La capacità di tiro del trattore deve essere superiore o almeno uguale alla trazione richiesta dalla seminatrice.
La trazione è già stata calcolata **T = 4800 N**; si deve quindi calcolare l'Aderenza (A). Dato che la trazione richiesta non è elevata, si può considerare l'impiego di un modello a 2 RM. Il suo peso può essere dedotto tenendo conto del corrispondente rapporto peso/potenza (Rpp), di 450 N/kW:

G = Pmot */ Rpp = 26,3 kW * 450 N/kW = 11835 N

Per il calcolo dell'Aderenza (A), occorre però calcolare il peso aderente (Ga) del trattore a 2 RM, in condizioni dinamiche:

Ga = 0,8 * G → Ga = 11835N * 0,8 = 9468 N

Inoltre, bisogna quantificare:
- il Coefficiente di Aderenza (Ca): trattandosi di terreno soffice e cedevole, è corretto ipotizza **Ca = 0,45;**
- il Coefficiente di Resistenza al rotolamento (Cr): nelle condizioni di cui sopra, si considera **Cr = 0,09.**

A = (Ga * Ca) - (G * Cr) = (9468 N * 0,45) - (11835 N * 0,09) = 4260,6 N – 1065, 2 N = 3195,4 N

per cui: **A < T**

E' necessario quindi adottare soluzioni per rendere possibile l'operazione, ovvero aumentare l'aderenza. Tra le tre possibilità (zavorrare, ridurre la pressione degli pneumatici, montare pneumatici larghi e a bassa pressione), da scartare è la prima (zavorrratura) perchè ciò peggiorerebbe l'affondamento del trattore, con incremento di Cr, per cui si opta direttamente per il montaggio di pneumatici larghi e a bassa pressione.
Tali accorgimenti comportano un incremento di Ca del 40%:

A = [9468 N *(0,45 * 1,4)] - (11835 N * 0,09) = (9468 N * 0,63) - (11835N * 0,09) = 5964,9 N - 1065,2 N = 4899,7 N

A ≥ T

VERIFICA DI STABILITÀ

Poiché la seminatrice durante le svolte fine campo e in trasporto viene sollevata, e quindi è portata 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:**

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

$M_{m.o.}$ = 100 kg/fila * 8 file = 800 kg

1/3 M_{tratt} = 11.700 N / 9,81 /3 = 397,6 kg

La condizione imposta NON risulta verificata, per cui l'insieme trattore-m.o. non fornisce sufficienti garanzie di stabilità. Pertanto, si deve considerare la condizione minima di garanzia, ovvero:

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

da cui:

$$M_{tratt} = 800\ kg / 0{,}33 = 2400\ kg$$

Di conseguenza, la potenza che il trattore a 2RM dovrà avere sarà:

G = Pmot * Rpp → Pmot = G / Rpp

Se: M_{tratt} = 2400 kg = 23522 N → P_{mot} = 23522 N / 450 N/kW = 52,3 kW = 71,1 CV

Nota:
In sostanza, in termini di potenza e aderenza potrebbe essere sufficiente un piccolo trattore a 2 RM da 35 CV equipaggiato con ruote larghe e a bassa pressione, ma in realtà, per assicurare il necessario livello di stabilità dell'insieme trattore-m.o. occorre considerare l'impiego di una macchina ben più potente, cioè di circa 70-75 CV.
E questo è proprio ciò che avviene nella realtà operativa.
Ecco perché, in tali condizioni, risulta conveniente sfruttare la pdp ECO per il trasferimento di potenza agli organi lavoranti della m.o.