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. 4

Un trattore da 65 CV deve trasportare su una strada sterrata interpoderale in piano un rimorchio monoasse da 6000 kg a 15 km/h. L'operazione è possibile?

Obiettivo del problema: verificare che tutte le tre verifiche (di potenza, aderenza e stabilità) risultino positive.

Priorità delle verifiche: trattandosi di un trasporto, il fattore limitante per questa operazione risulta essere la potenza.
Quindi l'ordine delle verifiche da eseguire sarà:

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

SVOLGIMENTO

Dati:
Pmot = 65 CV = 47,8 kW
Mrim = 6000 kg
Velocità di lavoro = 15 km/h = 4,2 m/s

VERIFICA 1 : Pu ≥ Pm.o.

Calcolo della Potenza Utile (Pu) del trattore
È necessario effettuare il bilancio dinamico, che comprende le seguenti 5 voci:

1. **η autodislocamento**: nel testo del problema non sono indicate condizioni particolari, per cui si presume che la strada sterrata sia asciutta e in buone condizioni . **η = 0,90**;
2. **η trasmissione**: vista la classe di potenza del trattore è possibile ipotizzare la presenza di un cambio meccanico tradizionale: **η = 0,90**;
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 tradizionale: **η = 0,96**;
5. **η slittamento**: è un trasporto in piano di un rimorchio a pieno carico congruente con il trattore accoppiato. **η = 0.93**.

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

- Metodo matematico:
  η_g = 0,90 * 0,90 * 1 * 0,96 * 0,93 = 0,72
- Metodo degli "impegni di potenza";
  η_g = 100% - (10% + 10% + 0% + 4% + 7%) = 100% - 31% = 69% → **0,69**

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 = 0,72 (primo metodo) la potenza utile Pu del trattore è:

$$Pu = Pmot * \eta_g = 47{,}8\ kW * 0{,}72 = 34{,}4\ kW$$

<u>Calcolo della Potenza richiesta dalla Macchina Operatrice (Pm.o.)</u>
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:

$$Pg = T * v * k$$

E' però necessario prima calcolare la Trazione T opposta dal rimorchio, tenendo conto che essendo quest'ultimo monoasse tradizionale, scarica fino al 25% del proprio perso sul gancio di traino del trattore. Quindi:

$$T = 0{,}75\ Grim * Cr * \beta$$

dove:
Grim = peso totale rimorchio
Cr = coefficiente di resistenza al rotolamento
B = coefficient di variabilità della superficie

$$T = [0{,}75 * (6000kg * 9.81)] * 0{,}07 * 1{,}1 = 3399\ N$$

Pertanto:

$$Pg = T * v * k = 3399\ N * 4{,}2\ m/s * 1 = 14276\ W = 14{,}3\ kW$$

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:

Pm.o. = Ppdp + Pg

Pm.o. = 0 kW + 14,3 kW = 14,3 kW

Pu > Pm.o

VERIFICA 2 : A ≥ T

Conoscendo la potenza del trattore, si ricava il suo peso G considerando il rapporto peso/potenza Rpp. Tenendo conto delle condizioni non proibitive del trasporto, è possibile ipotizzare l'adozione di un trattore a 2 RM:

G = 47,8 kW * 450 N/kW = 21510 N

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 2RM si adotta la formula standard, **non dimenticando però che:**
1. **in condizioni dinamiche, il peso aderente Ga di un trattore 2 RM è l'80% del peso totale (Ga = 0,8 G);**
2. **il 25% per peso del rimorchio monoasse tradizionale si scarica sul trattore, e quindi va ad aumentare il suo peso.**

Inoltre:
Ca = esprime l'efficacia del contatto tra pneumatici e terreno. Su una strada interpoderale sterrata in buone condizioni: **Ca = 0,5**
Cr = identifica la difficoltà del trattore ad avanzare. Su una strada interpoderale sterrata in buone condizioni: **Cr = 0,07**

A = {[0,8 * (G + 0,25 Grim)] * Ca} – [(G + 0,25 Grim) * Cr]
= {[0,8 * (21510 N + 14715 N)] * 0,5} – [(21510 N + 14715 N) * 0,07] = 14490 N – 2536 N = 11954 N

Ricordando che T = 3399 N

A >> T

VERIFICA 3: STABILITÀ

Trattandosi di un caso di trasporto di un rimorchio, la verifica di stabilità è di tipo qualitativo, ovvero è necessario identificare il tipo di gancio agricolo omologato in regola con le direttive del Codice della Strada. In questo caso, al fine di garantire un trasporto in sicurezza, si dovrà adottare un gancio di **categoria C**, che a fronte di una massa massima rimorchiabile di 6000 kg garantisce un carico verticale sul gancio di 1500 kg, ovvero proprio il 25% della massa totale del rimorchio.
Tra l'altro, nella realtà operativa il gancio di categoria C è proprio il tipo che viene più frequentemente montato sui trattori della classe di quello ipotizzato in questo problema.