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

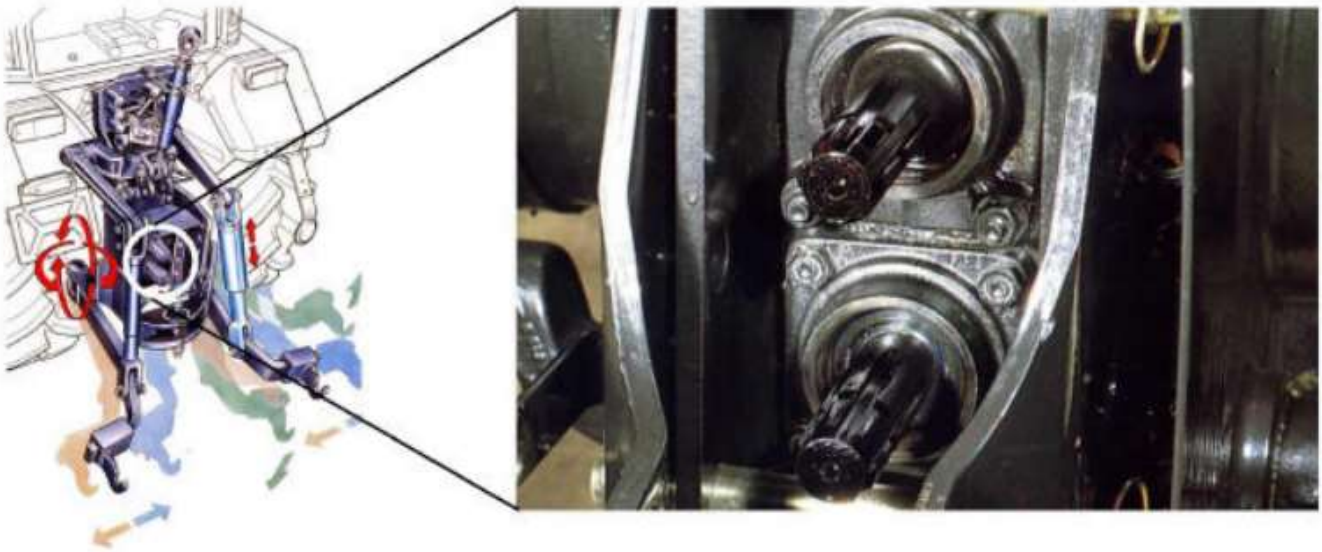
DISPENSA DEL CORSO DI

MECCANIZZAZIONE AGROROREST ALE

Prof. D. Pessina

a.a. 2021/22

PRESA DI POTENZA



PRESA DI POTENZA

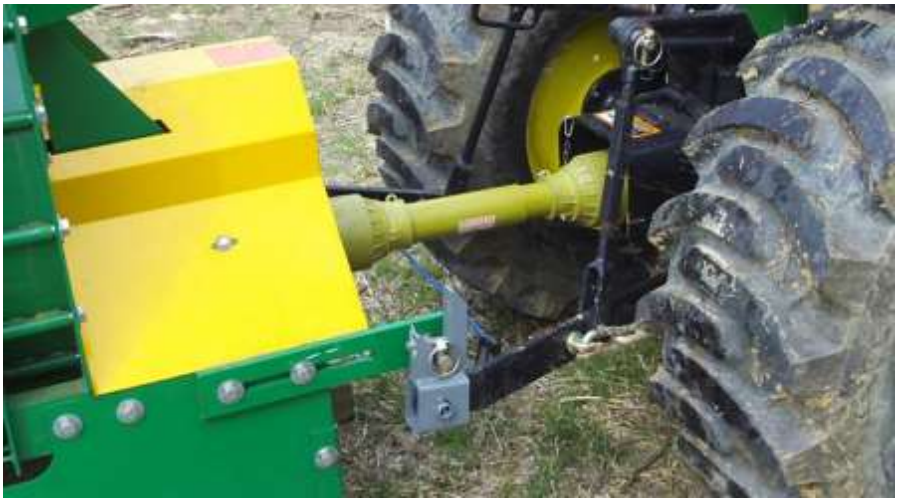
La presa di potenza (pdp), definita anche tramite l'acronimo inglese PTO (Power Take Off), è il mezzo tramite il quale il motore del trattore è in grado di azionare, per mezzo di un movimento meccanico di tipo rotatorio, per il tramite dell'albero cardanico di trasmissione, gli organi lavoranti sulla macchina operatrice (m.o.) ad esso accoppiata, di norma posteriormente.

La pdp è detta anche spesso, ma impropriamente, "presa di forza": infatti, tale sistema trasmette una **coppia** nell'ambito di un moto rotatorio di un albero (maschio scanalato) dotato di una determinata **velocità angolare** tale che:

$$P = C * \omega$$

dove: P = potenza (W o, meglio, kW)
C = coppia motrice (Nm)
ω = velocità angolare (giri/min o, più rigorosamente, rad/s)

*E' pertanto del tutto evidente che tale sistema trasmette una potenza, e **non** una forza.*

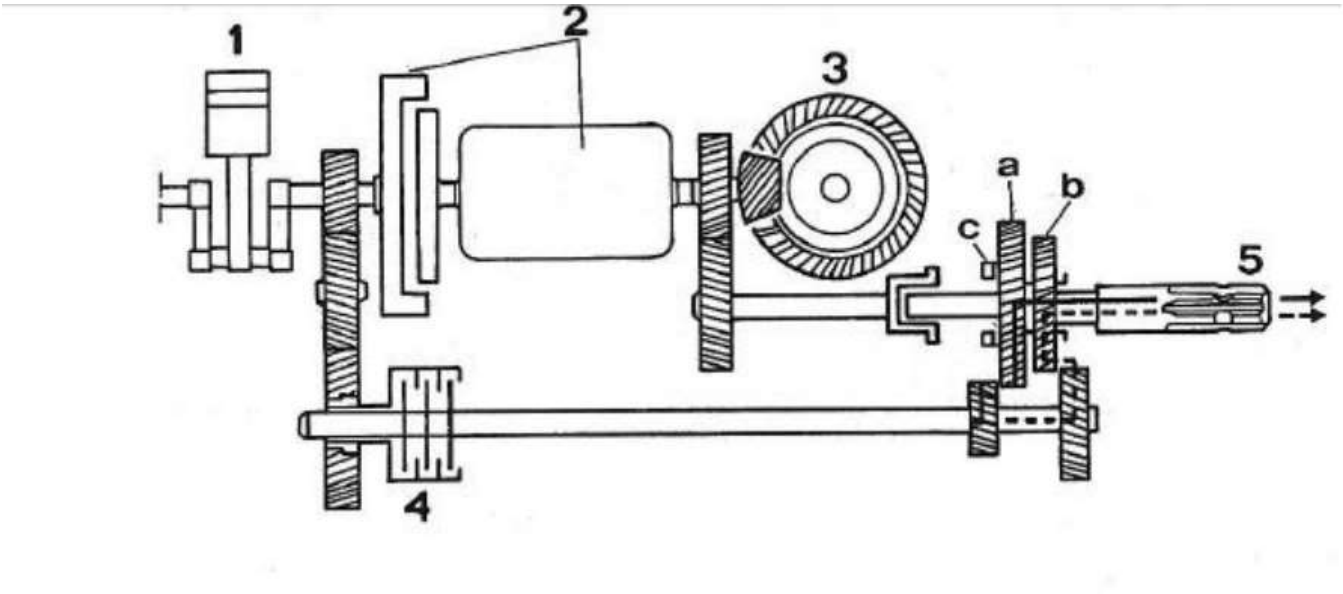


Trasmissione del moto tra la presa di potenza posteriore del trattore e la corrispondente presa del moto sulla macchina operatrice, tramite l'albero cardanico.

Unitamente alla protezione dell'albero cardanico, il codolo terminale o maschio scanalato della presa di potenza deve essere adeguatamente segregato da una protezione specifica contro i contatti accidentali.

OK

pericolo!



Schema generale di trasmissione del moto dal motore alla presa di potenza: dal motore (*1*), il moto si trasmette al cambio tramite la frizione principale (*2*), e successivamente alle ruote per mezzo del differenziale e dei riduttori finali (*3*). Allo stesso tempo, il moto è derivato dal motore anche all'albero primario della pdp, tramite una prima serie di ingranaggi e una frizione (*4*). L'albero secondario della pdp, al quale è solidale il maschio scanalato (*5*), può alternativamente essere collegato all'albero primario della pdp tramite due differenti coppie di ingranaggi (*a* e *b*), per assicurare due regimi standardizzati di rotazione (540 e 1000 min^{-1}), oppure ad un altro albero in uscita dal cambio (*c*), per ottenere una pdp sincronizzata, cioè con rotazione proporzionale a quella degli organi di propulsione (ruote o cingoli).

In tutti i casi, infatti, nella trasmissione del moto tra il motore e la pdp è inserita una frizione, per permettere un innesto e un disinnesto dolci e senza strappi. Normalmente tale operazione è realizzata meccanicamente, per mezzo di leveraggi e molle, cui fa capo una leva (o più raramente un pedale) posti al posto di guida.

Più modernamente, e per rendere l'azionamento ancora più graduale ed ergonomico (cioè che richieda un minor sforzo all'operatore), l'innesto è realizzato idraulicamente, grazie ad un frenello, coadiuvato da uno smorzatore. A quest'ultimo l'olio in pressione arriva grazie all'apertura di un'elettrovalvola, che permette pertanto le operazioni di inserimento e disinserimento. In definitiva, il comando al posto di guida è un pulsante o una levetta, che fornisce o toglie corrente all'elettrovalvola.

Quindi spesso si definisce, erroneamente, "pdp idraulica", una pdp che non è veramente tale, ma che è comunque meccanica, ed ha solamente l'innesto che è asservito idraulicamente.

Esistono diversi tipi di pdp, sia facendo riferimento alle **modalità di funzionamento**, sia in relazione alla **standardizzazione delle prese di moto**, i maschi scanalati.

In ogni caso, essendo quello della pdp una trasmissione del moto realizzata meccanicamente (o, come visto, più raramente in modo idraulico), essa sarà caratterizzata da un suo rendimento.

PDP ANTERIORE

Oltre alla pdp posteriore, sui trattori più recenti è disponibile come optional anche una pdp anteriore che, unitamente al sollevatore anteriore, permette il montaggio di una m.o. davanti al trattore, per poter eseguire lavorazioni combinate.

Vista di una pdp anteriore (*qui completa della copertura del maschio scanalato e della cuffia di protezione, in giallo, contro i contatti accidentali quando è collegato un albero cardanico*). L'utilizzo della pdp anteriore trova la sua ragione per la contemporanea presenza dell'attacco a tre punti anteriore, tramite il quale è possibile portare una serie sempre più numerosa di m.o., azionate grazie ad essa.

Rendimento della presa di potenza (η_{pdp})

Nella configurazione classica, la trasmissione del moto dal propulsore alla pdp è realizzata con un certo numero di ingranaggi, riduttori del moto; partendo infatti dai valori tipici del regime di rotazione di potenza massima del motore del trattore (solitamente tra 2100 e 2500 min^{-1}), tenuto conto che il rapporto di riduzione si aggira intorno a 1:4 per la più comune configurazione della pdp (a 540 min^{-1}), e a circa 1:2 per quella più moderna di 1000 min^{-1}, è ragionevole pensare che non sia possibile utilizzare a tale scopo meno di due coppie di ingranaggi (in realtà, talvolta molti di più…) per trasmettere adeguatamente il moto, senza costruire cambi spropositati nell'ingombro.

Tenuto conto che, come indicazione generale:

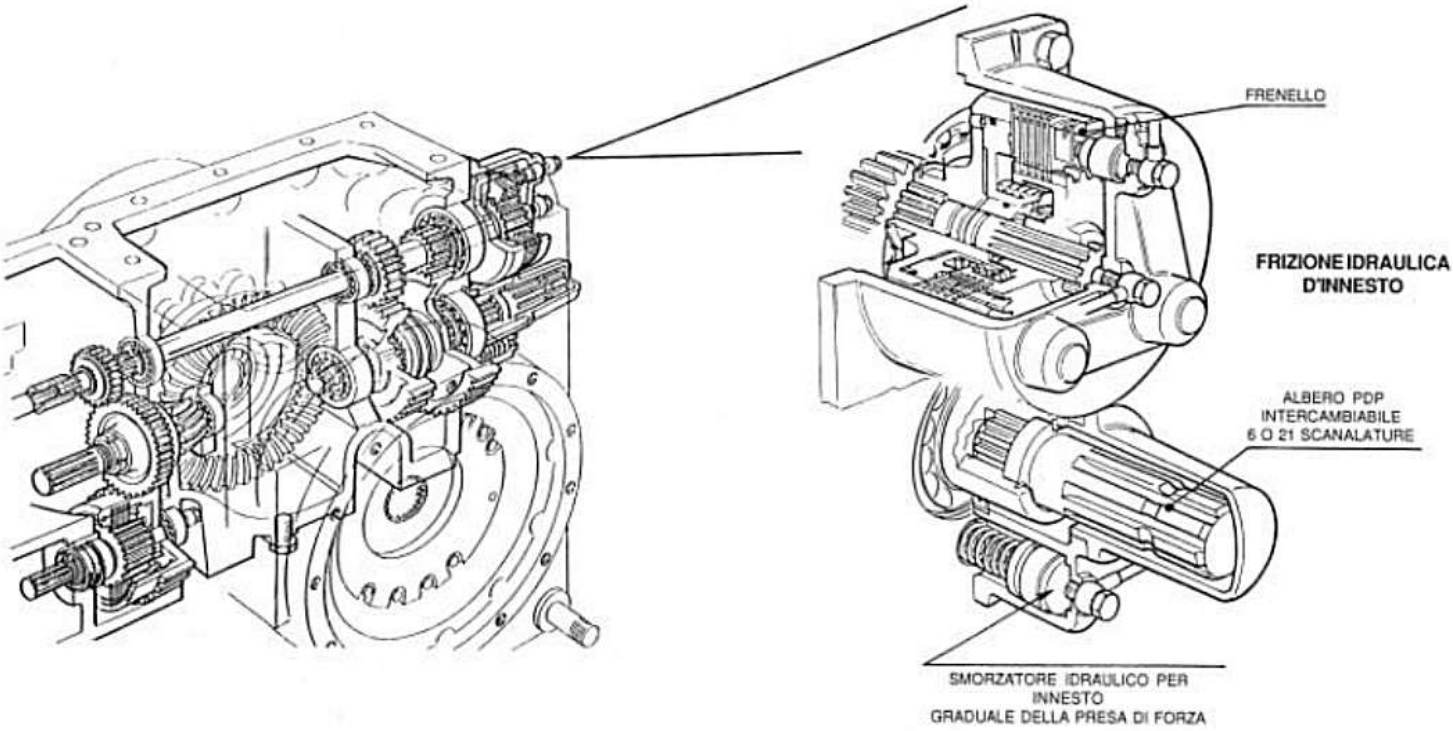
l'azionamento di ogni coppia di ingranaggi assorbe il 2 % circa della potenza motore

è ragionevole concludere che

il rendimento della pdp è circa pari a 0,95-0,96.

A tale conclusione, del resto, si è giunti da tempo anche sperimentalmente: effettuando due prove dello stesso motore, la prima al banco (cioè misurando la potenza del solo propulsore, senza alcun accessorio collegato), e la seconda alla pdp, con il veicolo ovviamente fermo, si è accertato che la differenza tra i due valori, a parità di tutti gli altri parametri, era proprio intorno al 5 %.

PRESA DI FORZA INDIPENDENTE AD INNESTO ELETTROIDRAULICO



Dettagli costruttivi di una soluzione di pdp ad innesto elettroidraulico.

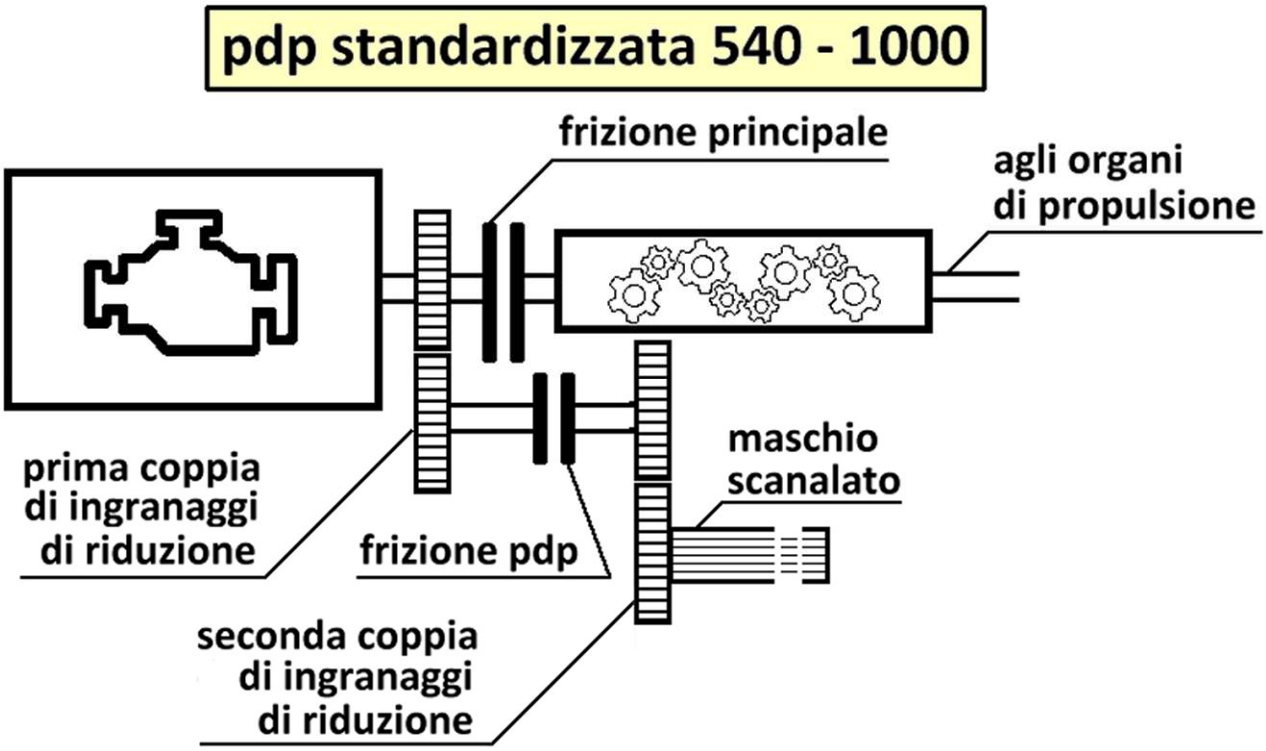
Nel caso di pdp ad azionamento elettroidraulico (erroneamente spesso definita "pdp idraulica"), il comando per il suo innesto dal posto di guida è un pulsante (a sinistra, per le pdp anteriore e posteriore) o una levetta (a destra), che fornisce o toglie corrente all'elettrovalvola; questa permette l'invio o chiude la mandata di olio in pressione ad un cilindretto idraulico, che avvicina o allontana il disco condotto della frizione a quello che trasmette il moto, oppure aziona i meccanismi equivalenti.

Modalità di funzionamento della pdp

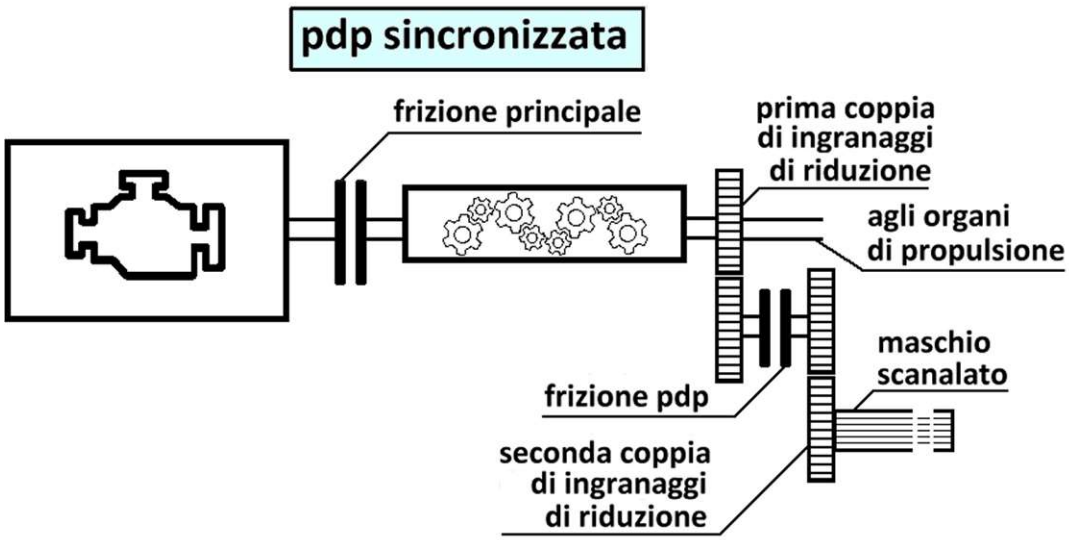
Affinchè gli organi lavoranti (in moto) delle m.o. accoppiabili possano operare in modo ottimale, è necessario che il regime di rotazione sia normalizzato; in altre parole, i costruttori di m.o. devono avere come riferimento determinati valori di velocità angolare, per i quali, attraverso opportune moltiplicazioni o demoltiplicazioni, i vari attrezzi e/o accessori possano ruotare (o comuque muoversi) con le caratteristiche più opportune per effettuare la lavorazione più consona. Nel tempo, si sono **affermati 4 modi di funzionamento della pdp**:

1. **pdp a 540 min^{-1}**: è il regime di rotazione classico. Quasi tutti i modelli di trattore (da quelli di minor potenza e specializzati, come i mezzi utilizzati per la manutenzione del verde, nel vigneto e nel frutteto, a quelli più grandi, fino a 100-120 kW circa) ne sono dotati. Fanno eccezione solo alcuni modelli di grande potenza, da 100-120 a 200 kW;

2. **pdp a 1000 min^{-1}**; è una standardizzazione del regime di rotazione affermatasi negli ultimi anni circa, ed è stata la risposta dei progettisti alla continua richiesta di aumento delle potenze da trasmettere. Raddoppiando in pratica la velocità angolare rispetto a quella classica, a parità di coppia trasmessa si è potuta aumentare la potenza di circa due volte. Il risultato raggiunto è stato importante, poiché il contenimento del valore della coppia massima trasmissibile ha permesso di non surdimensionare in modo esagerato gli elementi della catena cinematica del moto (alberi, cuscinetti, ecc.) in modo da evitare problemi costruttivi e di ingombro a bordo della macchina. Viceversa, l'aumento delle sollecitazioni in caso di sbilanciamenti degli alberi in moto, dovuto all'incremento della velocità di rotazione, è stato contenuto con una costruzione più accurata, ottenuta tramite miglioramenti nei materiali impiegati e una più attenta lubrificazione;



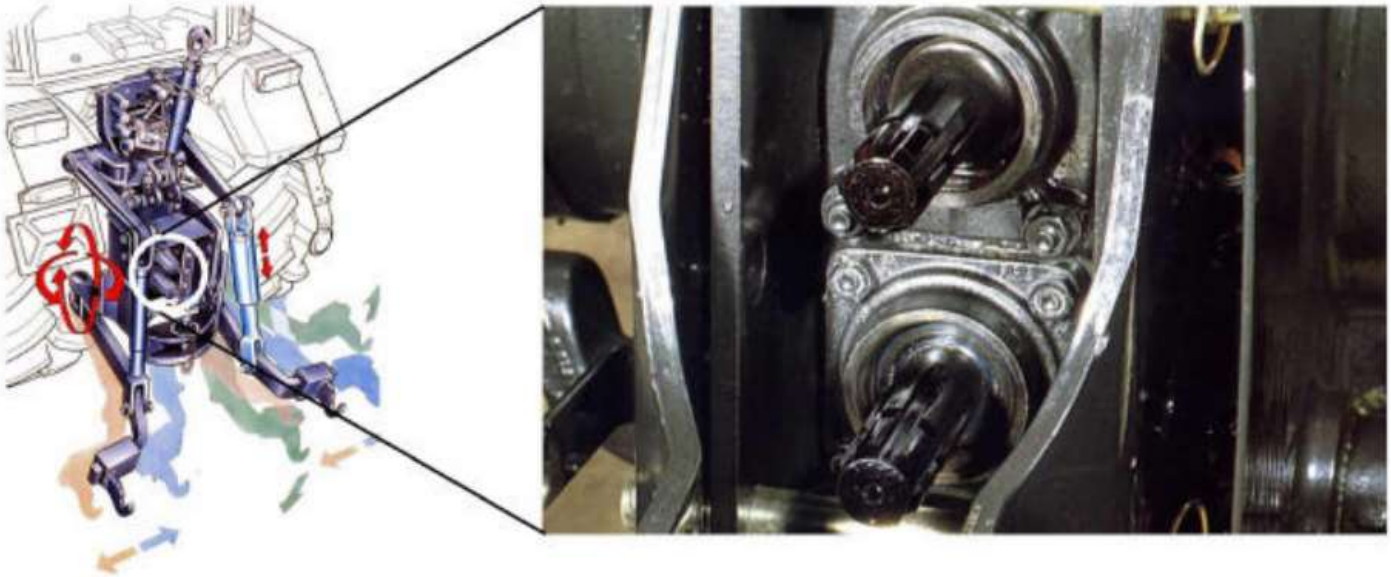
3. **pdp sincronizzata** (con il cambio); è una modalità di funzionamento che si adotta quando la m.o. ha organi che devono essere mossi in modo **proporzionale** rispetto agli organi di propulsione (ruote o cingoli), cioè in definitiva in funzione della velocità di avanzamento dell'insieme trattore-m.o. In tal caso lo schema di trasmissione del moto, rispetto alla configurazione tradizionale, varia come mostrato : il moto per la pdp viene ricavato, tramite una o più coppie di ingranaggi, a valle (cioè all'uscita) del cambio, e non a monte (cioè prima).



Schema di funzionamento della pdp sincronizzata: il moto viene ricavato, tramite una o più coppie di ingranaggi, a valle (cioè all'uscita) del cambio, e non a monte (cioè prima), come avviene nella pdp a regime standardizzato.

Il numero di m.o. che utilizzano questa modalità di funzionamento è in aumento; tra queste, due esempi:

- rimorchi con asse motore: gli assi dei rimorchi sono normalmente folli; le sue ruote, però, possono essere rese motrici, collegandole alla pdp del trattore tramite un albero cardanico, degli ingranaggi riduttori e un differenziale. Tale applicazione risulta particolarmente utile nella marcia su terreno in pendenza (tipicamente in montagna), per migliorare la trazione in salita e contribuire, grazie all'uso del freno-motore, in discesa, evitando una sovrasollecitazione dei freni, che creerebbe dannosi surriscaldamenti e conseguente perdita di efficienza. E' naturale quindi che, per un corretto funzionamento, il moto alle ruote del rimorchio debba essere sincronizzato con quello delle ruote del trattore;
- alcune (poche) seminatrici di precisione (ad es. per il mais). Per mantenere costante la distanza di deposizione dei semi sulla fila, indipendentemente dalle più o meno ampie variazioni di velocità di avanzamento del complesso trattore-seminatrice, gli organi distributori del seme prendono usualmente il movimento da una delle due ruote di cui è normalmente equipaggiata tale m.o. Contrariamente a ciò, in un ridotto numero di modelli, il moto è derivato direttamente dalla pdp, che necessariamente deve essere di tipo sincronizzato con il cambio. I progettisti di tale soluzione costruttiva affermano che in tal modo si ottiene una miglior uniformità di semina, perché in tal caso gli organi di distribuzione non sono soggetti alle irregolarità di rotazione causate dagli slittamenti e/o strisciamenti della ruota motrice della seminatrice, in condizioni di terreno umido.



Il maschio scanalato che fa capo alla pdp sincronizzata può essere indipendente rispetto a quello del regime standardizzato (sopra), poiché, per ragioni operative, è talvolta necessario che le due pdp funzionino in contemporanea, come ad esempio per un carro spandiletame o spandiliquame ad asse motore, da utilizzare proficuamente su terreni in pendenza (sotto).

Spandiletame con asse motore (a sinistra) e dettaglio della trasmissione cardanica al differenziale e alle ruote(a destra)

4. Presa di potenza economica (ECO)

Partendo dal presupposto che le macchine operatrici che derivano il moto dalla pdp del trattore non necessitano tutte la medesima richeista di potenza, è ampiamente noto che parecchie lavorazioni, cosiddette "leggere", richiedono al maschio scanalato solamente 10-20 kW. Se si opta per l'adozione dei regimi standardizzati di 540 o 1000 giri/min, la potenza disponibile in quella condizione al motore è prossima a quella massima, quindi molto superiore a ciò che effettivamente è necessario. Questo surplus comporta però un inevitabile elevato consumo di gasolio, non foss'altro per vincere gli attriti di tutti gli organi in moto, che in tale frangente ruotano ad una velocità molto alta.
La soluzione (da tempo) adottata al per migliorare l'efficienza della lavorazione, è consistita nell'introduzione di un'ulteriore modalità di funzionamento della presa di potenza, la cosiddetta pdp "economica" o ECO.
In pratica, invece di rapporti di riduzione del moto di circa 4:1 e 2:1, la pdp 540 ECO si caratterizza per una riduzione di circa 3:1. Così facendo, quando il motore gira ad un regime prossimo a quello di potenza massima (2100-2400 giri/min), il maschio scanalato girerebbe intorno a 700-800 giri/min, un regime incompatibile con l'esigenza delle macchine operatrici di ricevere un moto normalizzato a 540 giri/min. Pertanto, per riportare la situazione nella sua correttezza occorre ridurre il regime motore, a 1600-1650 giri/min, agendo sull'acceleratore, ovvero parzializzando la mandata di gasolio, e quindi riducendo i consumi. E' pur vero che in tal modo si dispone di una potenza inferiore, ma ciò non costituisce un problema, dato che come visto molte lavorazioni non sono così esigenti in termini di potenza alla pdp (ad esempio perché è richiesta viceversa molta potenza per via idraulica).
Oltre a quello descritto, che è il più tangibile perché di natura strettamente economica, facendo funzionare il motore ad un regime ridotto si conseguono 3 ulteriori vantaggi:

1) il propulsore genera meno rumore, migliorando le condizioni di comfort della guida;
2) poiché tutti gli organi si muovono ad una velocità inferiore, minore sarà nel tempo la loro usura e il degrado di tutti i fluidi di lubrificazione;
3) consumando meno combustibile, saranno parimenti inferiori le emissioni gassose inquinanti. Ecco perché la 540 ECO, oltreché economica, può essere anche definita "ECOlogica".

Sebbene il suo significato tecnico abbia una valenza inferiore, analogamente alla 540 ECO è disponibile anche la pdp 1000 ECO, dove logicamente il rapporto di riduzione tra motore e codolo terminale è di circa 1,5:1. Tuttavia, va tenuto presente che la pdp standardizzata a 1000 giri/min è stata introdotta per supportare la trasmissione di potenze elevate, e quindi risulta raramente adottata in modalità ECO, che tipicamente prevede la gestione di una potenza ridotta.
In ogni caso, i più recenti modelli di trattori di media potenza (indicativamente tra 120 e 150 CV) spesso offrono, a volte anche già di serie, tutte le 4 combinazioni standardizzate ed economiche, ovvero 540 - 540 ECO - 1000 - 1000 ECO.

Un esempio applicativo

Si potrebbe obiettare che con la pdp ECO si fa funzionare il motore ad regime inferiore a quello di potenza massima, che quindi non è disponibile in tutta la sua potenzialità. Sarebbe come acquistare un'automobile sportiva, e poi girare sempre in città, dove il limite è di 50 km/h. *Quindi, in alternativa si potrebbe impiegare un trattore meno potente e usare la pdp 540 standardizzata, sfruttando in tal modo appieno le prestazioni del motore, con una serie di importanti vantaggi economici, ovvero un minor prezzo di acquisto, minori spese di manutenzione e riparazione, ecc.*
In realtà, l'ottimizzazione dell'accoppiamento trattore-operatrice deve necessariamente tenere conto anche della **stabilità** del cantiere. *Ciò al fine di evitare importanti inconvenienti operativi, quali il famigerato ribaltamento*. Pertanto, per garantire opportune condizioni di sicurezza, si è costretti ad adottare trattori maggiormente stazzati, quindi più pesanti, in definitiva più potenti. In tale frangente, l'adozione della modalità ECO risulta essere oltremodo efficiente, per tutte quelle lavorazioni poco esigenti in termini di potenza richiesta alla pdp.
Un esempio può forse chiarire meglio quanto illustrato.
Si immagini di poter disporre di un trattore da 80 CV (circa 60 kW), con una massa di 3000 kg per effettuare un trattamento in vigneto con un atomizzatore portato all'attacco a 3 punti del sollevatore, che ha una massa (a pieno carico) di 1000 kg. Tale accoppiamento può considerarsi sicuro in termini di stabilità, dato la massa dell'attrezzatura portata a sbalzo sul posteriore non supera 1/3 di quella globale del trattore *(cfr dispensa sul dimensionamento trattore-operatrice)*.
La tipica richiesta di potenza dell'atomizzatore (per il funzionamento del ventilatore, della pompa, ecc.) è di 20-25 kW. Considerando anche l'impegno di una parte della potenza erogata dal motore per i cosiddetti "autoconsumi" (ad esempio per l'autodislocamento, per la trasmissione interna del moto, per il funzionamento dell'impianto idraulico, ecc., *cfr dispensa sul dimensionamento trattore-operatrice)* è possibile ipotizzare un assorbimento globale di 40 kW. Dunque, rispetto a ciò che il motore sarebbe in grado di erogare, rimarrebbero 20 kW inutilizzati. L'adozione della pdp 540 standardizzata sarebbe pertanto poco logica, poiché non c'è bisogno della massima potenza, mentre la pdp 540 ECO comporta l'ottimizzazione della lavorazione, con tutti i vantaggi già descritti.
In estrema sintesi, il punto chiave è che la pdp ECO permette di utilizzare trattori di notevole massa (garantendo la stabilità) , facendo lavorare il motore a regime parzializzato, in modo da contenere i consumi di combustibile.
Eccetto i più recenti modelli di fascia media apparsi sul mercato, purtroppo la pdp ECO non è sempre disponibile sulla maggioranza dei trattori oggi operativi. Per quelli di nuova produzione, sempre più spesso è prevista in opzione, con sovrapprezzo. E' bene quindi che ogni utente ne valuti attentamente l'acquisto, in funzione delle caratteristiche delle lavorazioni che prevede di effettuare con la macchina che si accinge ad acquistare.

Standardizzazioni della presa del moto (maschio scanalato)

Analogamente ai regimi di rotazione, anche per la conformazione delle prese del moto esistono diversi standard, affermatisi in tempi e luoghi differenti. Ciò ha portato ad alcune incongruenze nel corretto accoppiamento tra trattore e m.o. per mezzo dell'albero cardanico, e all'utilizzo, in caso di non identità tra prese maschio e femmina, di adattatori, che hanno costituito (e costituiscono tuttora…) una fonte di notevole pericolo a causa sia della loro costruzione, spesso artigianale e realizzata con materiali inadeguati, sia di montaggi precari non conformi alle più elementari norme di buon senso.

Adattatori del codolo terminale (sopra) e inconvenienti funzionali del maschio scanalato e dell'albero cardanico (sotto).

Due cattivi esempi di adattatori di prese di moto della pdp : l'esemplare nella parte superiore della figura è stato realizzato con un acciaio troppo tenero, e ha subito una notevolissima torsione; viceversa, quello sotto è stato tranciato, a causa di picchi troppo alti di coppia torcente.
In entrambi i casi, la costruzione appare chiaramente artigianale e inadeguata. Simili situazioni sono estremamente pericolose, perché una rottura di un componente esterno della catena cinematica del moto sotto sforzo potrebbe causare il lancio violento e improvviso di pezzi, trasformati in veri e propri proiettili.

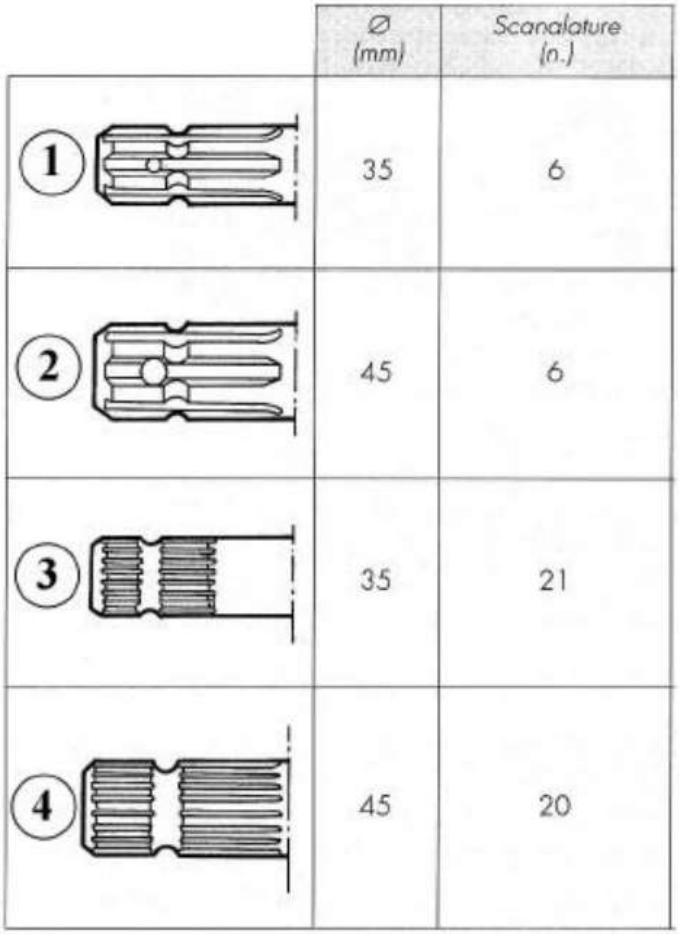
E' quindi necessario conoscere e utilizzare correttamente le standardizzazioni dei maschi scanalati presenti sul trattore e sulla m.o. Le prese di moto, poi, possono essere azionate con i regimi visti, senza un accoppiamento fisso tra tipologia e velocità di rotazione: esistono pertanto numerose combinazioni, a seconda delle scelte costruttive effettuate.

Si possono dunque individuare **4 normalizzazioni, differenziate in base al diametro del maschio scanalato, al numero delle scanalature** e, in linea di massima, alla gamma di potenza utile trasmissibile:

1. **6 scanalature "piccola"**: è la presa di moto più utilizzata, montata sui trattori di potenza limitata, media e medio-alta. Ha un diametro di 35 mm e 6 scanalature longitudinali, piuttosto profonde. Il sistema di aggancio dell'albero cardanico, simile a tutti gli altri tipi di presa, prevede una cava trasversale rotondeggiante, ricavata a circa 1/3 della lunghezza della presa di moto. In questa cava si va ad alloggiare la spina che tiene solidale la crociera più esterna dell'albero cardanico. Viene utilizzata a tutti i regimi di rotazione, standardizzati e non. Nel caso in cui sia possibile, sulla medesima macchina, scegliere in alternativa i regimi di 540 e 1000 giri/min, la selezione può essere eseguita dal posto di guida, in modo meccanico o elettroidraulico; in qualche vecchio modello di trattore il selettore è manuale e posto in prossimità della presa di moto, nella parte posteriore della macchina;
2. **6 scanalature "grande"**: è del tutto simile alla precedente, con l'unica (peraltro importante) differenza che il diametro è di 45 mm. E' uno standard sempre meno adottato, e comunque è presente sui vecchi modelli; per tale motivo spesso è previsto solo il regime di 540 giri/min;
3. **21 scanalature ("millerighe piccola")**: è uno standard relativamente nuovo, che prevede delle scanalature più fitte (appunto 21 rispetto a 6), ma meno profonde degli esempi precedenti.

Si sta diffondendo sui trattori di potenza più elevata, perché questo tipo di presa è generalmente in grado di trasmettere coppie elevate senza una significativa usura anche per periodi prolungati di tempo, grazie alla maggior superficie delle tacche del maschio scanalato a contatto con la crociera dell'albero cardanico e, quindi, alla minor probabilità di creare pericolosi giochi, che porterebbero a sbilanciamenti e vibrazioni anomale; in virtù della potenza elevata da trasmettere, queste prese sono quasi esclusivamente utilizzate con il regime standardizzato di 1000 giri/min;

4. **20 scanalature ("millerighe grande")** : simile alla precedente, ma con una scanalatura in meno e un diametro superiore (45 mm). Grazie alla sua maggior robustezza, è adatta per trasmettere potenze molto alte e per utilizzazioni che per la loro natura provocano, di ritorno, delle forti sollecitazioni meccaniche sul maschio scanalato (es. tipico: le lavorazioni del terreno con organi rotanti: zappatrici, vangatrici, rotoaratri, scarificatori rotanti, ecc.).



	Ø (mm)	Scanalature (n.)
1	35	6
2	45	6
3	35	21
4	45	20

Standardizzazione delle prese del moto.