CORSO DI MECCANICA AGRARIA E MECCANIZZAZIONE AGRICOLA PER L'AMBIENTE

Prof. Domenico Pessina

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

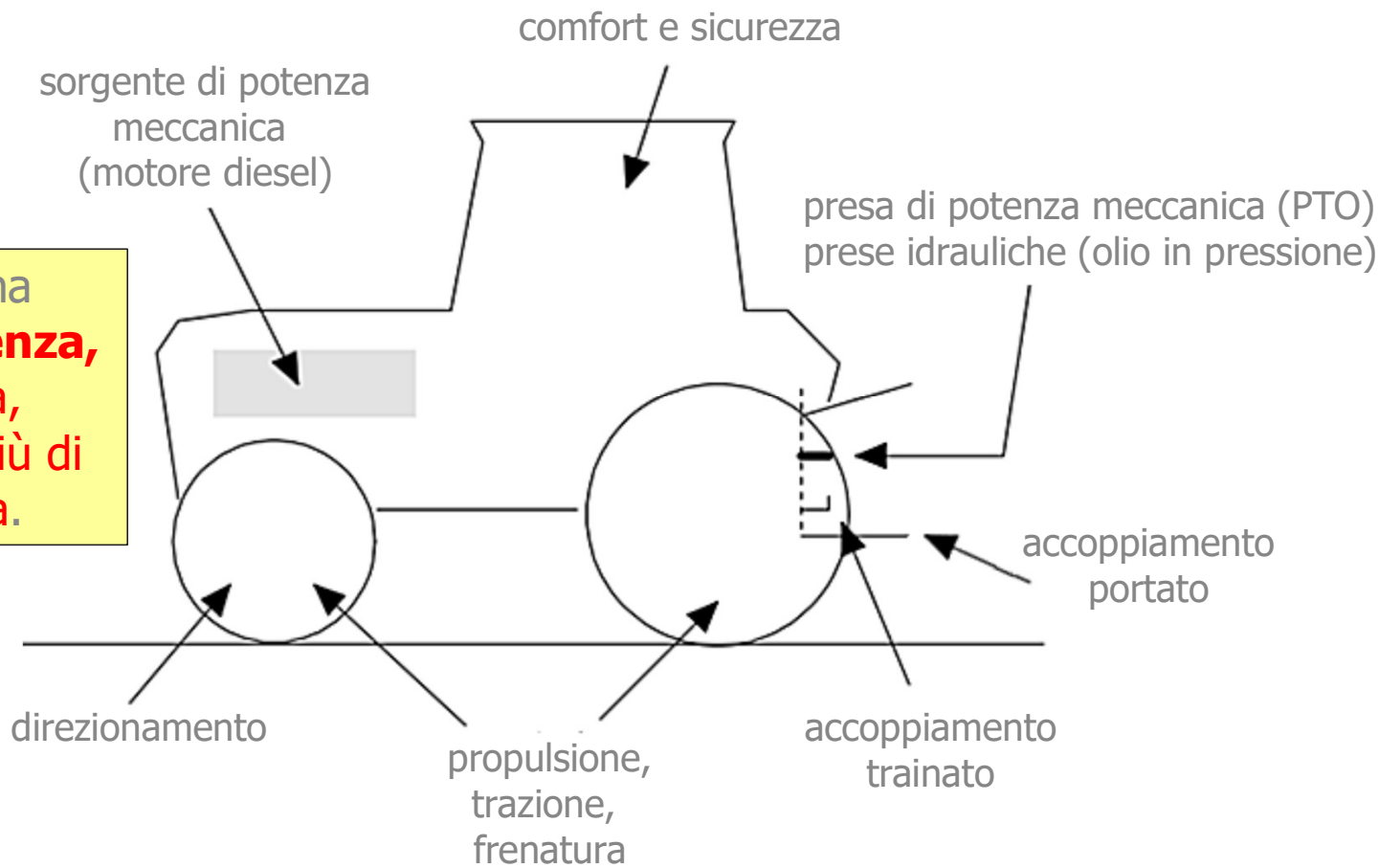
DiSAA – Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali
Università degli Studi di Milano

DiSAA DIPARTIMENTO di SCIENZE AGRARIE e AMBIENTALI

Il trattore e l'accoppiamento con le macchine operatrici

Funzioni del trattore agricolo

Il trattore agricolo è una **centrale mobile di potenza,** sotto forma meccanica, idraulica, pneumatica e più di recente anche elettrica.



Classificazione delle tipologie di accoppiamento trattore-macchina operatrice

Collegamento «**TRAINATO**»

La macchina operatrice, un rimorchio oppure un mezzo assimilabile ad un rimorchio, è collegata al gancio di traino del trattore (CUNA o UE) ed è dotata di uno più assi, eventualmente sterzanti e/o dotati di trazione.

Classificazione delle tipologie di accoppiamento trattore-macchina operatrice

Collegamento **PORTATO (O SEMI-PORTATO)**

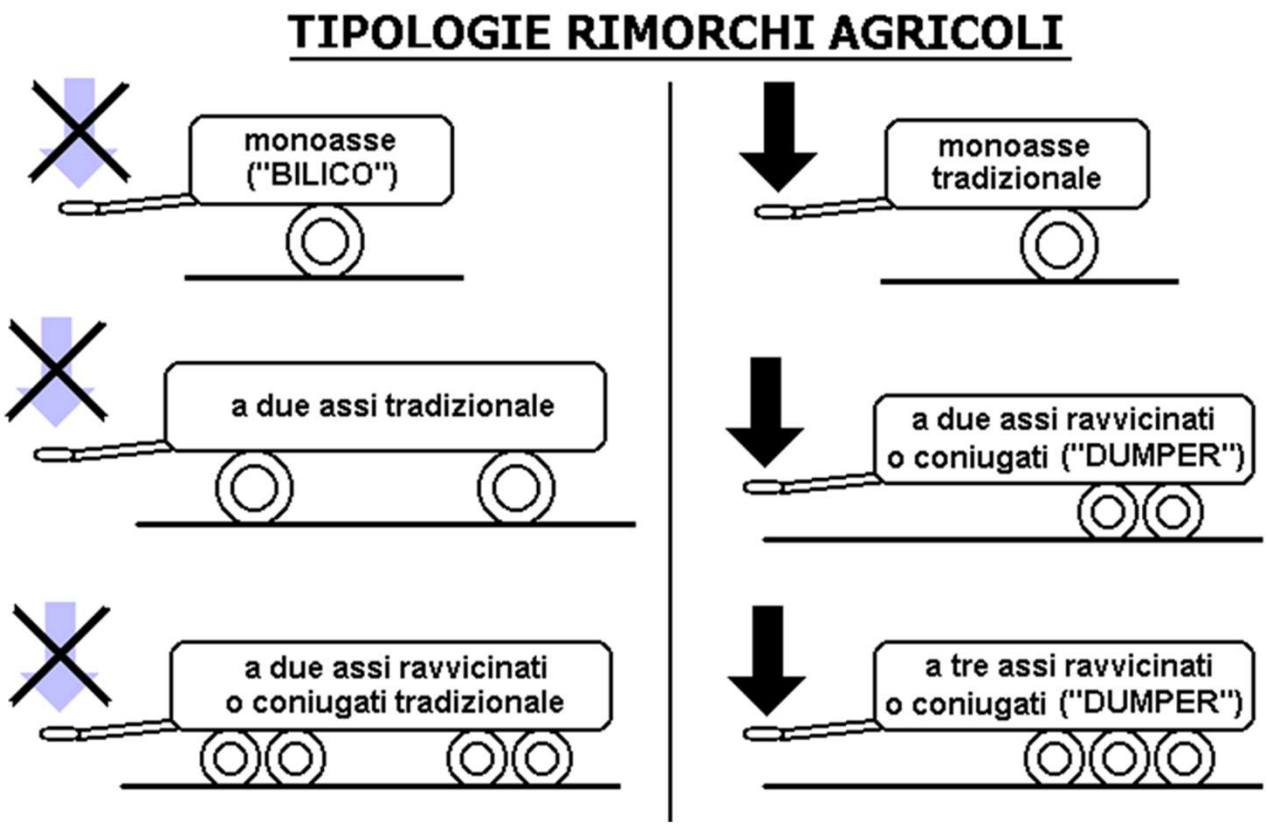
La macchina operatrice è **collegata all'attacco a 3 punti posteriore (e/o anteriore)** del trattore. Nel collegamento semi-portato l'operatrice è dotata di **ruote (o altri organi di appoggio)** che sono a contatto con la superficie del terreno durante il lavoro in campo (o su strada).

Classificazione delle tipologie di accoppiamento trattore-macchina operatrice

Collegamento «FISSO CON STAFFE»

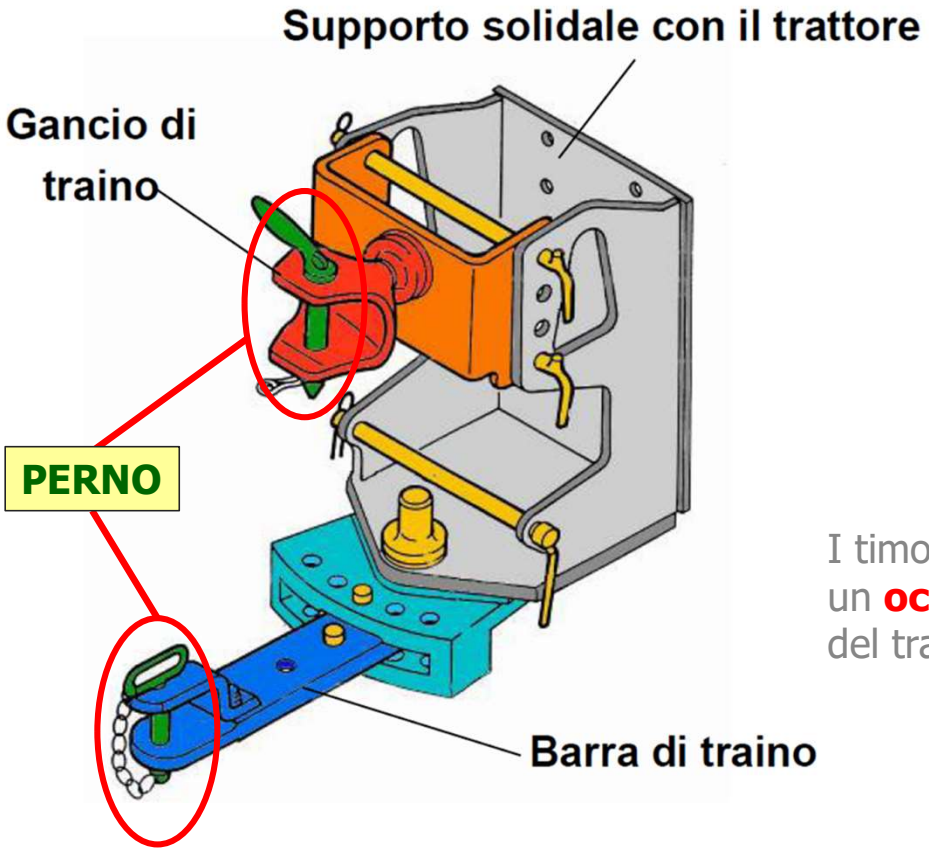
La macchina operatrice è collegata mediante **viti e bulloni al supporto portazavorre** anteriore o ad altri punti di attacco disponibili sul corpo trattore (ad esempio lateralmente).

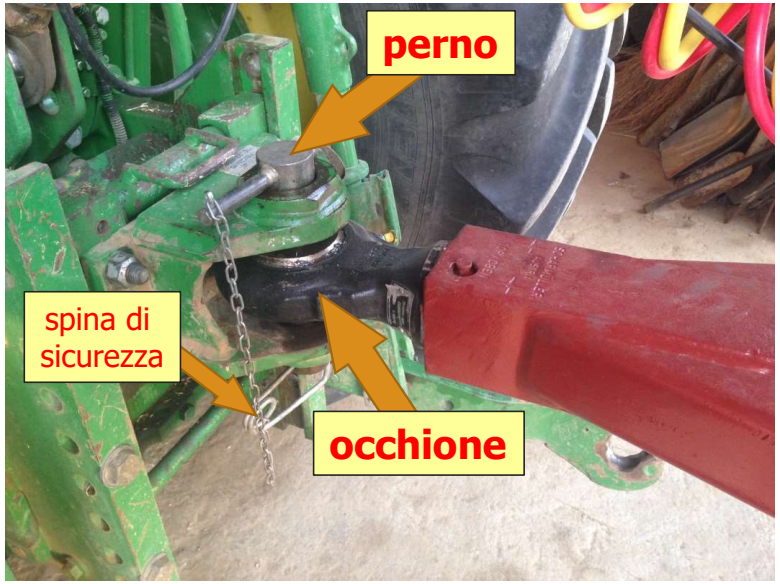
Requisiti per il collegamento di tipo «TRAINATO»



Nell'accoppiamento tra trattore e rimorchio, è indispensabile accertarsi che il carico verticale statico *(freccia verticale)* generato dal peso totale del rimorchio non superi quello accettabile dal gancio del trattore.

Requisiti per il collegamento di tipo «TRAINATO»





I timoni montati sulle macchine operatrici trainate terminano con un **occhione**, nel quale viene infilato il **perno** dei gancio di traino del trattore.

occhione

perno

Requisiti per il collegamento di tipo «TRAINATO»

(Norme CUNA: NC 338-02 e NC 438-06)

Tabella riassuntiva delle caratteristiche di ganci / occhioni e possibili abbinamenti.

	Categoria	Punzonatura	Capacità di traino Kg	Carico verticale kg	Categoria	
Ganci	A	6 t V0	6.000	0	E	Occhioni
	A1	3 t V0,25	3.000	250	E1	
	B	6 t V0,5	6.000	500	E2	
	C	6 t V1,5	6.000	1.500	E3	
	D	12 t V0	12.000	0	F	
	D1	20 t V0	20.000	0	F1	
	D2	14 t V2	14.000	2.000	F2	
	D3	20 t V2,5	20.000	2.500	F3	

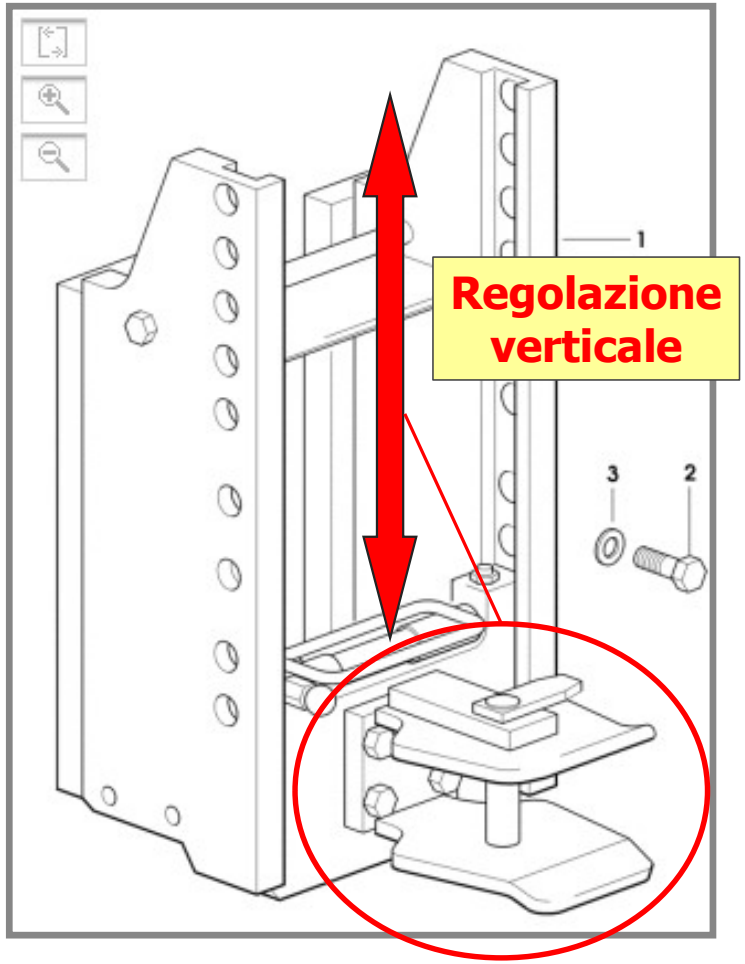
Se ad esempio si dispone di un gancio B occorre utilizzare di norma un occhione di tipo E2.

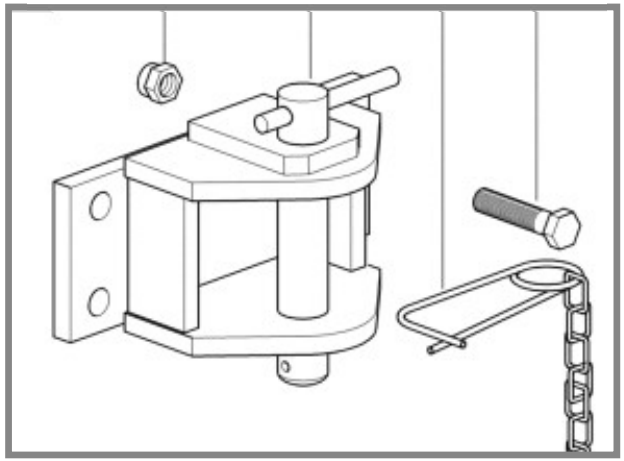
Requisiti per il collegamento di tipo «TRAINATO»

barra di traino
(**cat. A - CUNA**)

Requisiti per il collegamento di tipo «TRAINATO»

ganci (**cat. B, C, D2 e D3 - CUNA**)

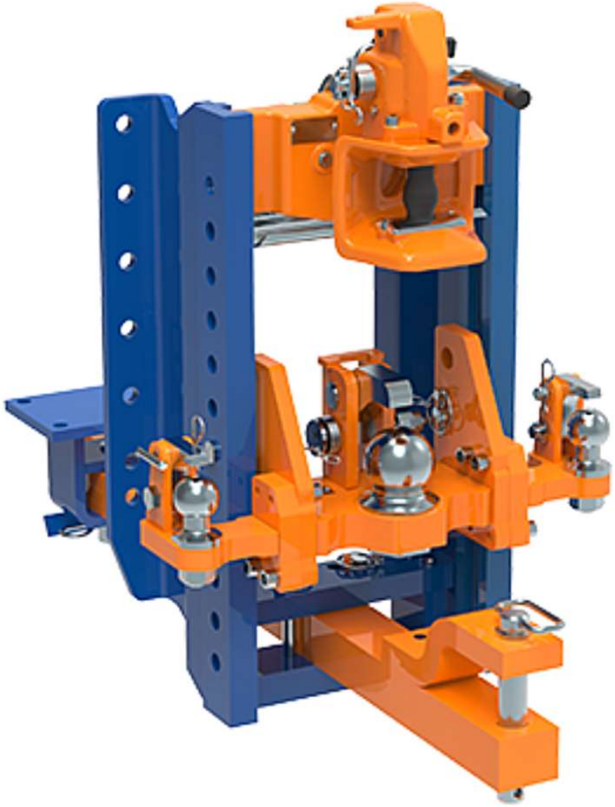




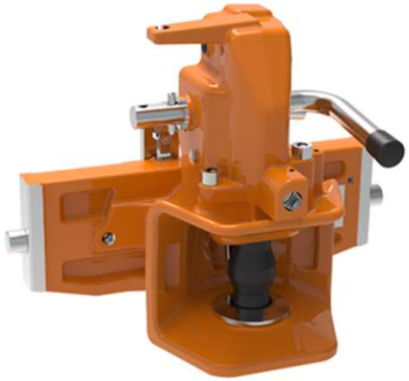
Requisiti per il collegamento di tipo «TRAINATO»

GANCI DI TRAINO UE

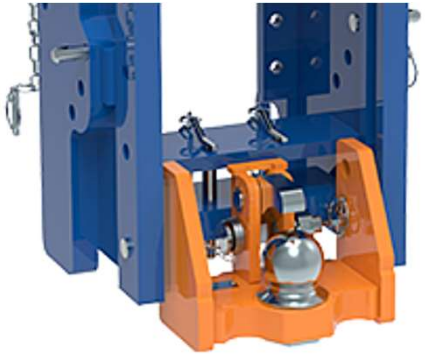
Gruppo di traino



automatico



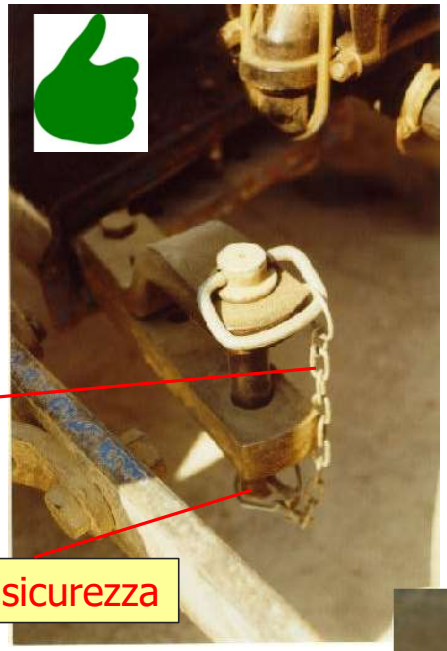
a sfera



pick-up hitch

piton fix

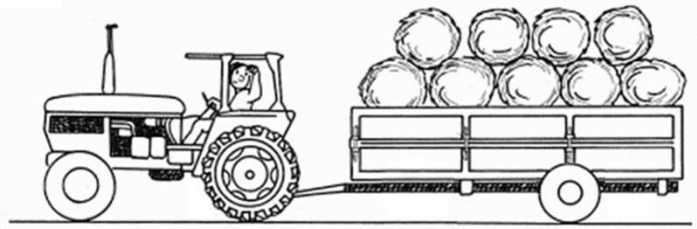
Requisiti per il collegamento di tipo «TRAINATO»



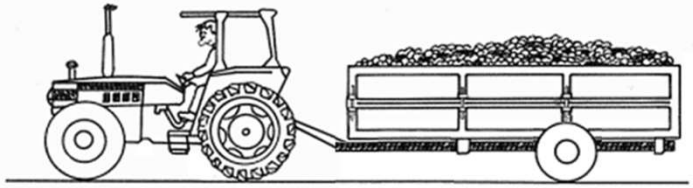
La preoccupante realtà….

Requisiti per il collegamento di tipo «TRAINATO»

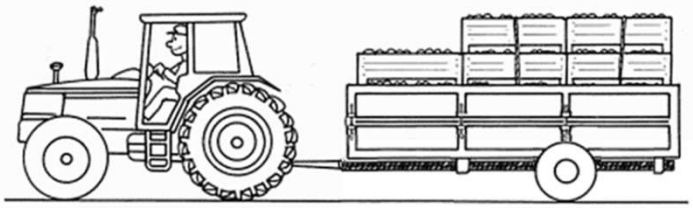
no (riduzione della capacità di trazione)



no (pericolo di impennamento)



OK (linea di tiro orizzontale)



! **E' inoltre importante mantenere la linea di tiro** *(identificata dall'assetto del timone)* **il più orizzontale (e bassa) possibile.** **!**

E' per questo che (ad eccezione della barra di traino) i ganci agricoli sono progettati in modo da adattare entro ampi margini l'altezza da terra dell'aggancio, poiché le conformazioni e le altezza da terra dei timoni dei rimorchi e delle altre macchine operatrici trainate possono variare di molto.

Requisiti per il collegamento di tipo «TRAINATO»
Generalità sul concetto di aderenza

La capacità di tiro del trattore è tecnicamente definita «**ADERENZA**» (A), e dipende principalmente da due fattori, ovvero:

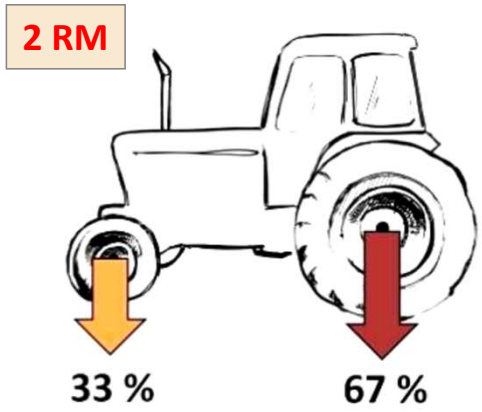
- il **peso aderente (Ga)**, cioè il peso del trattore che grava sulle sue ruote motrici (si misura in N);

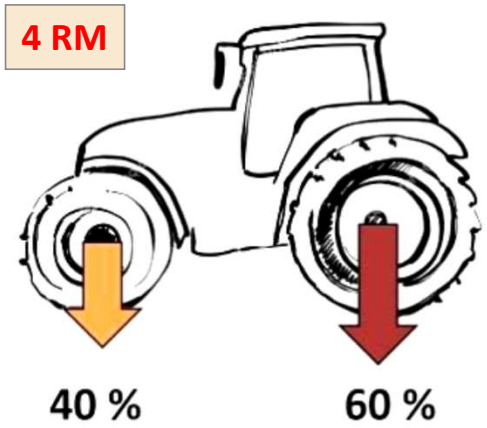
- il **Coefficiente di aderenza (Ca)** , che indica l'efficacia del contatto tra gli organi di propulsione (pneumatici o cingoli) e la superficie di appoggio (terreno o strada).

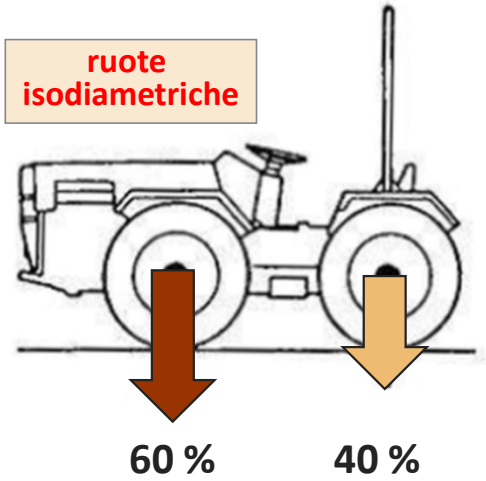
$$A = Ga * Ca$$

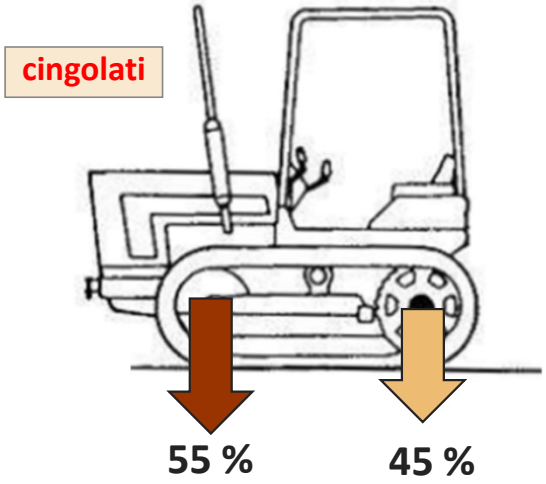
La ripartizione dei pesi (il peso aderente)

nelle diverse tipologie di trattore, in condizioni statiche)







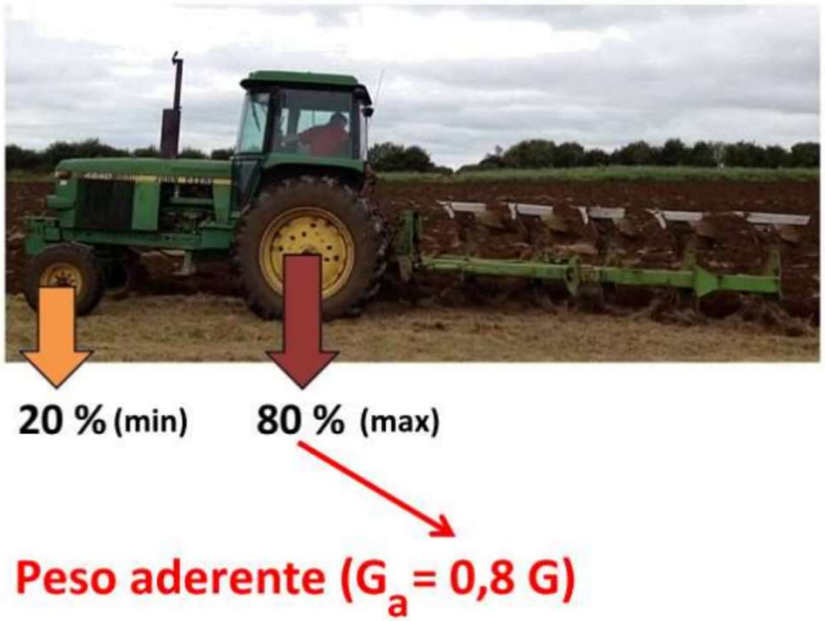


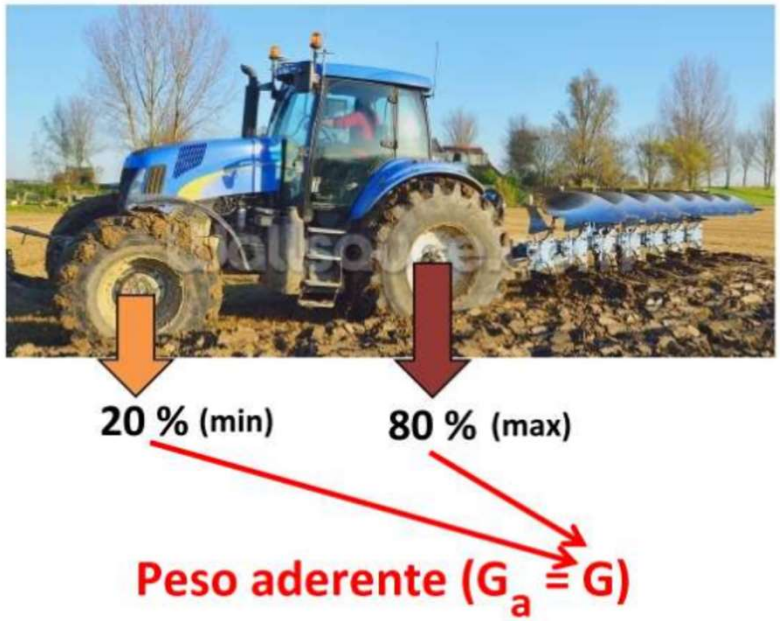
Requisiti per il collegamento di tipo «TRAINATO» - Generalità sul concetto di aderenza

Il trasferimento del **peso aderente**

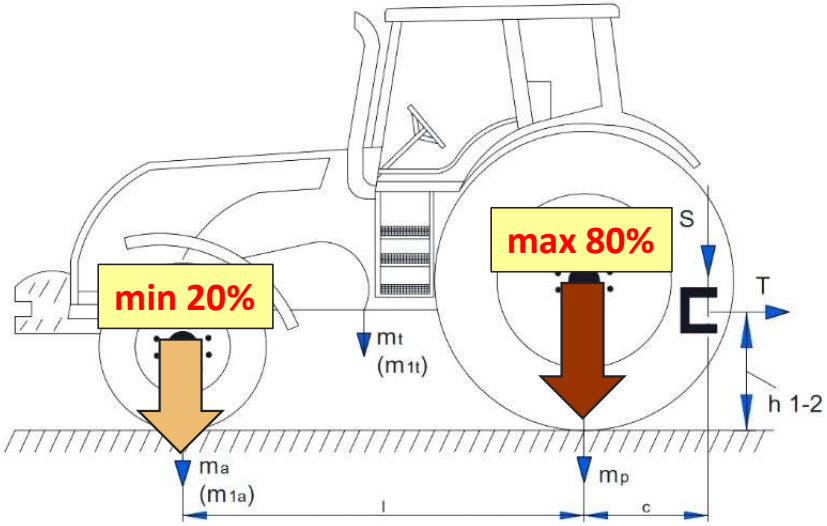
in condizioni dinamiche

Quando il trattore sviluppa un'elevata forza di tiro, tende a variare il suo assetto, alleggerendo la parte anteriore e logicamente appesantendo quella posteriore. In pratica, si verifica quello che si chiama "**trasferimento di peso**". In questa situazione, per garantire un'opportuna direzionalità alla macchina è evidentemente necessario che rimanga un sufficiente contatto tra le ruote anteriori (quelle sterzanti) e il terreno. Questa condizione è solitamente assicurata se **almeno il 20 % del peso del trattore grava sull'asse anteriore** e quindi il rimanente 80% su quello posteriore.





Requisiti per il collegamento di tipo "PORTATO, SEMI-PORTATO o FISSO con STAFFE" nella circolazione su strada



$$h1 \leq \frac{(m_a - 0{,}2m_t)l - S \times c}{0{,}8\,(0{,}8m_t + S)} \quad \text{o} \quad h2 \leq \frac{(m_{1a} - 0{,}2m_{1t})l - S \times c}{0{,}8\,(0{,}8m_{1t} + S)}$$

m_t: massa del trattore (*tractor mass*)
m_{1t}: massa del trattore con zavorra anteriore (*tractor mass with front ballast*)
m_a: peso sull'asse anteriore del trattore a vuoto (*front axle force with empy tractor*)
m_{1a}: peso sull'asse anteriore del trattore con zavorra anteriore (*front axle force with front ballast*)
l: interasse trattore (*wheelbase*)
S: carico verticale statico sul gancio (*vertical static force an the hitch*)
C: distanza tra centro gancio e piano verticale contenente l'asse posteriore del trattore (*distance between hitch center and the vertical plane on rear axle tractor*)

La condizione di un sufficiente contatto tra le ruote sterzanti e il terreno (ovvero almeno il 20% del peso totale dell'insieme trattore-operatrice che grava sull'asse anteriore) diventa ancora più importante nei trasferimenti (specie su strada pubblica), ed è **una condizione stabilita obbligatoriamente dal Codice della Strada**, che deve essere verificata in ogni condizione operativa.

La zavorratura

L'**aderenza** diventa requisito fondamentale quando il trattore deve esercitare un'elevata forza di trazione, cioè nelle **lavorazioni profonde del terreno** (aratura, scarificatura, rippatura, ecc.).

a valigetta

monolitica

ad anello

Per tale motivo, in questi casi è prassi appesantire il trattore con una notevole quantità di **zavorra** *(di norma però non oltre al 30% del peso tal quale, il 20% anteriormente e il 10% posteriormente)*, allo scopo di aumentare la massa che grava sulle ruote motrici, anche per migliorare la distribuzione dei pesi sugli assi, a tutto vantaggio della stabilità dell'insieme trattore-operatrice, soprattutto nei trasferimenti.

Il Coefficiente di aderenza

Il Coefficiente di aderenza Ca varia quindi in funzione dell'organo di propulsione installato sul trattore, dal tipo di terreno e dalle sue condizioni (come mostrato nella tabella, per trattori con pneumatici)

Condizione	C_a
Strada asfaltata e calcestruzzo asciutti, con superficie regolare	1
Strada asfaltata e calcestruzzo con brecciolino e sconnessi	0,9
Strada asfaltata e calcestruzzo bagnati, con brecciolino e sconnessi	0,8
Terreno nudo o inerbito asciutto; strada sterrata asciutta	0,5
Terreno nudo o inerbito o strada sterrata leggermente bagnati	0,45
Terreno nudo o inerbito o strada sterrata bagnati	0,4
Terreno nudo o inerbito o strada sterrata molto bagnati (quindi fangosi)	0,35

Strada asfaltata, asciutta e con superficie uniforme (Ca ≔1)

Terreno fangoso (Ca = 0,35)

Il motore diesel sui trattori agricoli

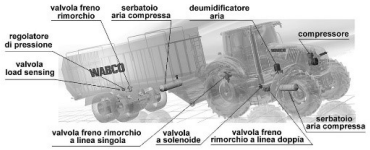
In linea generale, su un trattore agricolo la **potenza** fornita dal **motore endotermico** viene erogata tramite diverse **modalità**:

MECCANICA
(**moto lineare**, trazione)

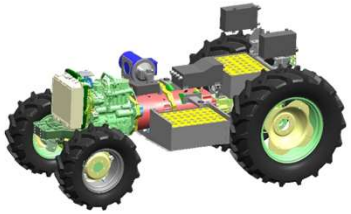
MECCANICA
(**moto rotatorio**, PTO e albero cardanico)

IDRAULICA
(flusso di **olio** in pressione)

PNEUMATICA
(flusso di **aria** in pressione)



ELETTRICA
(generatore elettrico, **pacco batterie**)



Il bilancio dinamico

(ovvero la potenza impegnata dal trattore come autoconsumo)

In qualunque lavorazione, **una certa quota parte della potenza erogata sarà impegnata dal trattore stesso per permettere il suo regolare funzionamento**.

Ne consegue che solo la parte rimanente potrà essere sfruttata dalle attrezzature accoppiate.

Irrigazione per scorrimento =
elevata disponibilità della potenza

Aratura =
limitata dispinibilità della potenza

Il bilancio dinamico
(ovvero la potenza impegnata dal trattore come autoconsumo)

E' quindi necessario fare un «bilancio dinamico» per capire quali siano gli impegni di potenza nelle varie condizioni di lavoro. Si considerano di solito 5 voci:

1 - Autodislocamento

E' la potenza impegnata dal trattore per avanzare (per pompare acqua da un fosso o nel collegamento con una cippatrice ovviamente non si ha questa dissipazione) e dipende in gran parte dalle caratteristiche della superficie su cui si lavora.

Tra il trasporto su strada asfaltata, asciutta e in piano (**potenza impegnata 2% circa**) e il transito in una risaia allagata (**potenza impegnata sino al 25-30%**) vi sono moltissime situazioni intermedie, tipiche della maggior parte delle lavorazioni agricole.

Nella condizione illustrata, ovvero la percorrenza su una superficie sterrata con un profilo irregolare, **il trattore impegna il 10% circa della potenza motore** per avanzare (ovvero per «trainare se stesso»).

Il bilancio dinamico
(ovvero la potenza impegnata dal trattore come autoconsumo)

2 – Trasmissione (il cambio)

L'effettivo rendimento dei cambi è appurabile solo con una serie di test al banco piuttosto complessi che danno inoltre risultati piuttosto difficili da interpretare, specie perché il rendimento varia a seconda dei vari punti (velocità) alla quale la trasmissione è chiamata a funzionare.

Va poi considerato che vi sono anche altri fattori che concorrono all'efficienza globale di una trattrice.

I cambi esclusivamente meccanici evidenziano i rendimenti più alti, cioè gli assorbimenti di potenza più bassi.
In relazione poi alla crescente complessità, la potenza assorbita progressivamente aumenta.
Indicativamente, gli **impegni di potenza** sono:

- per un cambio solamente meccanico, normalmente intorno al 8-10%;
- per un powershift semplice (Hi-Lo), aumenta al 12%;
- per un powershift di gamma, si deve considerare il 15%;
- per un powershift totale (full powershift) e per le trasmissioni CVT (miste meccanico-idrauliche) si può arrivare anche al 20%.

Il progressivo aumento è dovuto alla gestione via via più complessa delle frizioni secondarie.

Il bilancio dinamico
(ovvero la potenza impegnata dal trattore come autoconsumo)

Speeds

Gearbox 10+10			
	24" [IR 600]	28" [IR 650]	30" [IR 675]
Minimum speed* [Km/h]	2,6	2,8	2,9
Maximum speed* [Km/h]	33,7	36,5	37,9

Gearbox 20+20 with underdrive and creeper			
	24" [IR 600]	28" [IR 650]	30" [IR 675]
Minimum speed* [Km/h]	0,29	0,31	0,32
Maximum speed* [Km/h]	33,7	36,5	37,9

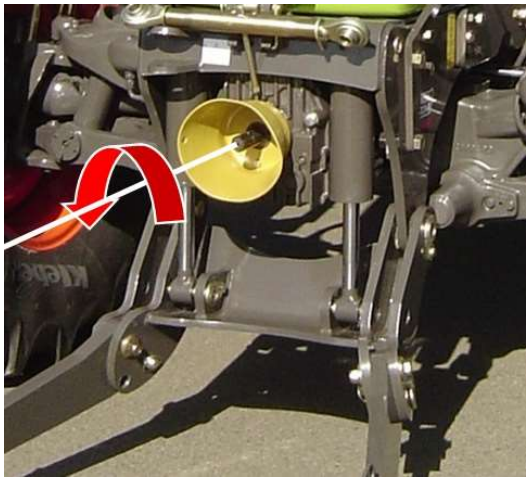
Gearbox 20+20 Hi-Lo			
	24" [IR 600]	28" [IR 650]	30" [IR 675]
Minimum speed* [Km/h]	2,6	2,8	2,9
Maximum speed* [Km/h]	39,3	40 ECO @2065 rpm (max. 42,6)	40 ECO @1990 rpm (max. 44,2)

Gearbox 40+40 Hi-Lo with underdrive and creeper			
	24" [IR 600]	28" [IR 650]	30" [IR 675]
Minimum speed* [Km/h]	0,29	0,31	0,32
Maximum speed* [Km/h]	39,3	40 ECO @2065 rpm (max. 42,6)	40 ECO @1990 rpm (max. 44,2)

Pertanto, in generale, quando il cambio è in funzione *(e se il trattore è immobile ovviamente non lo è)* ha un rendimento tipico che varia da un minimo di 0,8 (trasmissioni idrostatiche) a un massimo di 0,90-0,92 (trasmissione meccanica semplice).

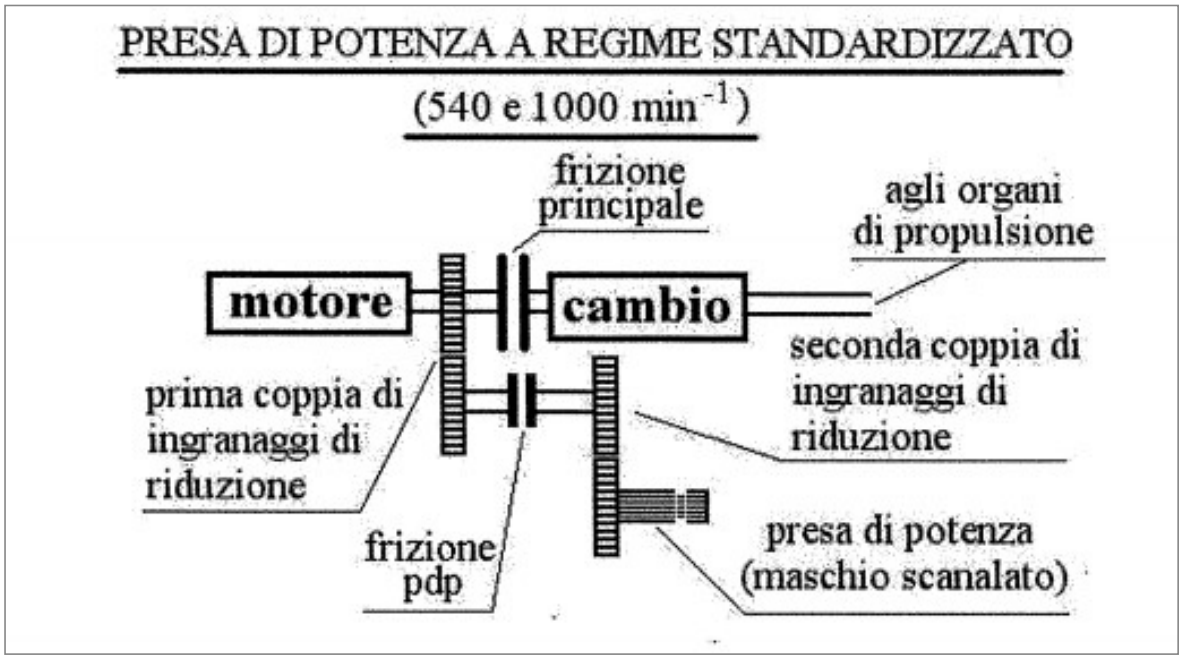
Ovviamente, si deve considerare un'ampia serie di situazioni intermedie (Hi-Lo, powershift di gamma o powershift totale) che, pur rendendo meno gravoso il lavoro all'operatore, comportano impegni di potenza progressivamente più alti.

Il bilancio dinamico
(ovvero la potenza impegnata dal trattore come autoconsumo)



3 - Presa di potenza (PTO)

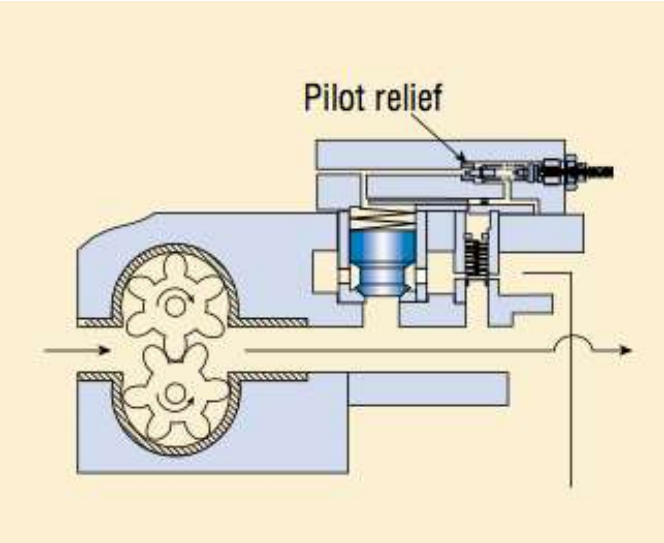
Quando è in uso (e se è in buone condizioni di manutenzione e non usurata), comporta **una dissipazione di circa il 5 % della potenza motore** (rendimento 0,95).

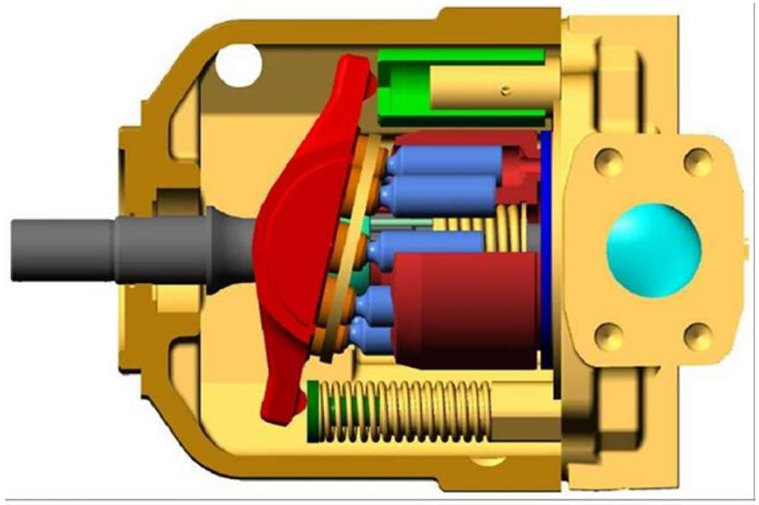


Il bilancio dinamico
(ovvero la potenza impegnata dal trattore come autoconsumo)

4 - Impianto idraulico

Con impianti **a centro aperto**, la pompa (classica, a ingranaggi) è sempre in funzione (quindi anche senza distributori collegati e con il sollevatore non in funzione): ciò comporta **un impegno di circa il 4 % della potenza** motore (rendimento 0,96); nelle medesime condizioni, sia gli impianti a centro chiuso con pompa di tipo Load Sensing che gli impianti a centro aperto dotati di valvola di esclusione comportano assorbimenti inferiori all'1%, e pertanto trascurabili .



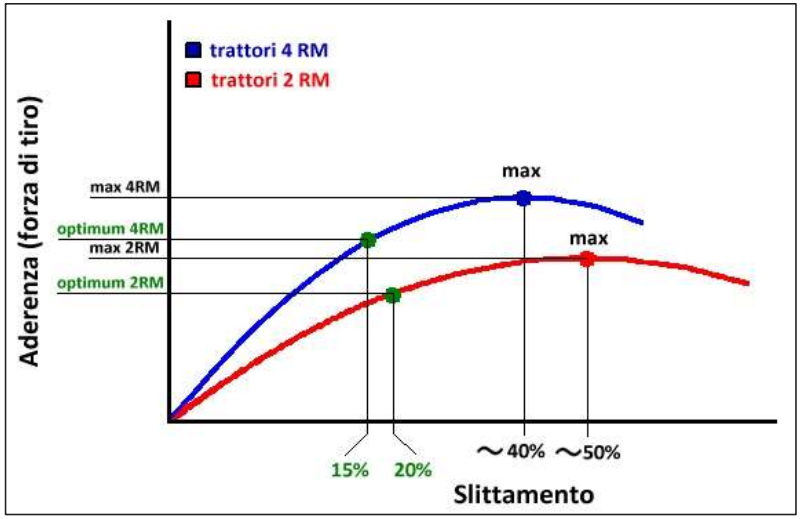


Il bilancio dinamico
(ovvero la potenza impegnata dal trattore come autoconsumo)

5 – Slittamento

Nei lavori che prevedono grossi sforzi di trazione, una certa quantità di energia viene dissipata per via dello slittamento esistente tra le ruote e il terreno, necessario per ottenere l'aderenza necessaria da parte del trattore.
La quota parte dissipata varia molto in funzione delle condizioni (dal 5% al 30% circa), con un **trattore a 4RM** che opera in condizioni ottimali di norma si attesta intorno al **15%**, con un **2RM** il valore è logicamente più alto (**20% circa**).

Il «tractor pulling» è un esempio lampante che lo slittamento è necessario per far sviluppare al trattore forze di tiro elevatissime.



Il bilancio dinamico (ovvero la potenza impegnata dal trattore come autoconsumo)

Dopo aver quantificato i singoli impegni di potenza è necessario calcolare **P_u**, cioè la potenza utile che il trattore è in grado di mettere a disposizione per la lavorazione. Occorre quindi sommare i singoli valori, da sottrarre al potenza motore per ottenere la **quota parte di potenza disponibile per la macchina operatrice, che nella maggior parte dei casi risulta compresa tra il 50 e il 70%**. In altre parole, ciò significa che in generale **dal 30 al 50%** circa della potenza del motore del trattore è impegnata per rendere possibile l'effettuazione dell'operazione in questione.

Irrigazione per scorrimento

Impegni di potenza:
1 - autodislocamento: 0 %
2 - trasmissione: 0%
3 - presa di potenza: 5 %
4 - impianto idraulico: 4 %
5 - slittamento: 0 %

100 % - (0%+0%+5%+4%+0%) =

potenza utile: 91%

Aratura

Impegni di potenza:
1 - autodislocamento: 10 %
2 - trasmissione: 15%
3 - presa di potenza: 0 %
4 - impianto idraulico: 0 %
5 - slittamento: 15 %

100 % - (10%+15%+0%+0%+15%) =

potenza utile: 60%

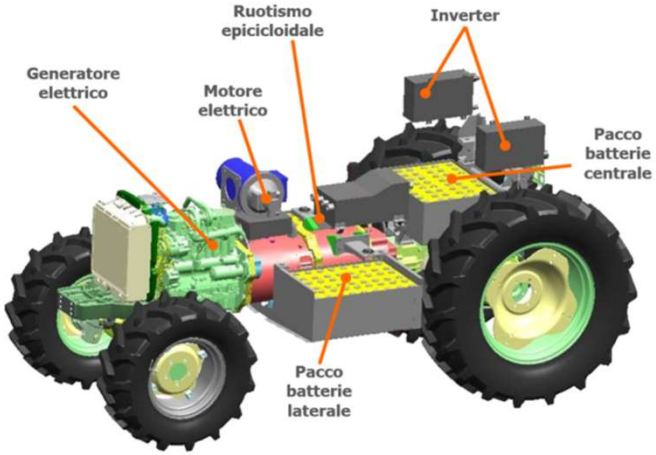
Trasmissione della potenza alla presa di potenza (PTO, Power Take-Off)

Più vasta è l'offerta in termini di modalità di funzionamento della PTO (540 – 540 ECO – 1000 – 1000 ECO) e maggiore è il numero di standardizzazioni richieste per il maschio scanalato (quando è intercambiabile), ma anche più elevata sarà la versatilità di impiego del trattore.

Evoluzioni e sviluppi futuri : trattori ibridi e «full-electric»

Recentemente si stanno sviluppando anche trattori e attrezzature che prevedono sia l'autodislocamento del trattore che il **trasferimento di potenza** dalla motrice all'operatrice **per via elettrica**.
A parte qualche sporadico esempio che si collega con un cavo elettrico ad un presa fissa e sfruttando l'alimentazione della normale rete elettrica, il futuro riguarda i modelli ibridi, dotati contemporaneamente di motore endotermico ed elettrico, e quelli «full-electric» equipaggiati del solo motore elettrico, alimentato da potenti battery-pack.
La strada da percorrere è ancora piuttosto lunga, e comporterà necessariamente anche un aumento dei costi (e del peso) delle attrezzature accoppiate, che dovrebbero essere necessariamente dotate di una serie di attuatori ad azionamento elettrico.

«Grid-Con» di John Deere senza conducente e con alimentazione via cavo a 2.500 V AC



Schema di trattore ibrido

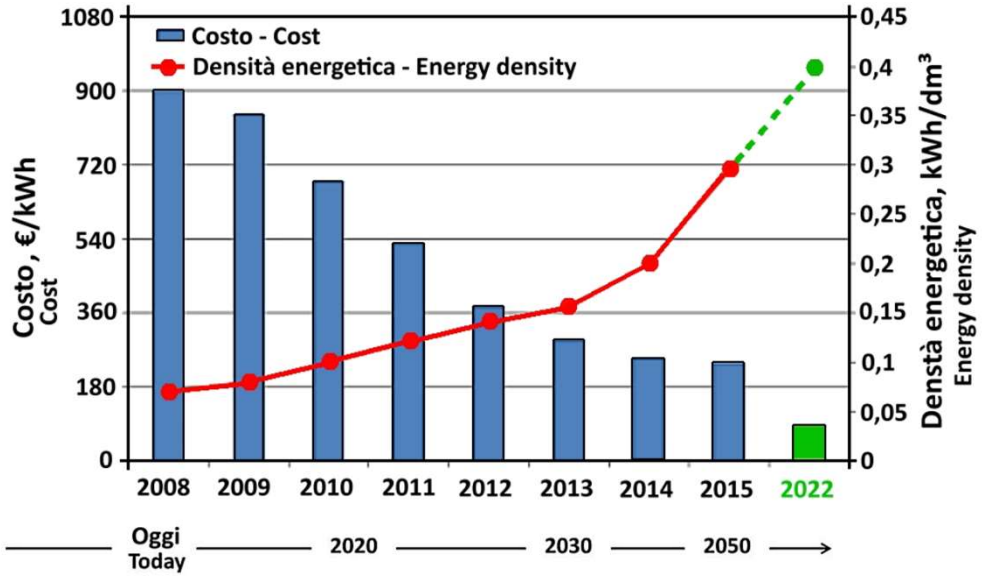
Evoluzioni e sviluppi futuri : trattori ibridi e «full-electric»

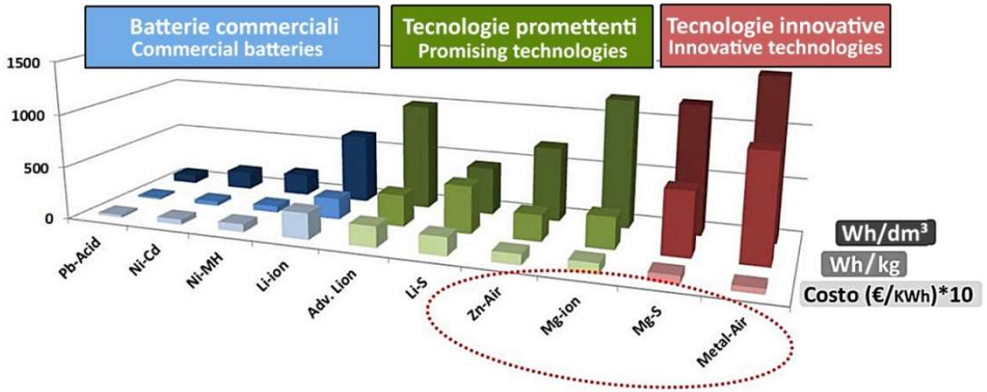
Alcuni marchi leader di mercato hanno messo a punto modelli «full-electric» alimentati a batteria, che esternamente sono del tutto simili ai trattori tradizionali.

Evoluzioni e sviluppi futuri : trattori ibridi e «full-electric»

La densità di energia delle batterie

E' la quantità di energia che può essere accumulata per unità di massa (o di volume) in una batteria, che rappresenta il motivo principale che ancora ostacola una larga diffusione di veicoli elettrici (trattori compresi). Infatti, la combustione di un chilogrammo di gasolio sviluppa quasi 12 kWh di energia, contro i 0,3-0,4 kWh di energia accumulata nella medesima massa della migliore batteria attuale.
Considerando anche i rendimenti delle due soluzioni energetiche, **il vantaggio dell'alimentazione con il combustibile fossile rimane di 12-15 volte**, un valore che costituisce tuttora un "gap" enorme per le batterie.
Anche se l'evoluzione futura è promettente, per la diffusione dei trattori agricoli alimentati esclusivamente a batteria si dovrà aspettare ancora qualche anno.

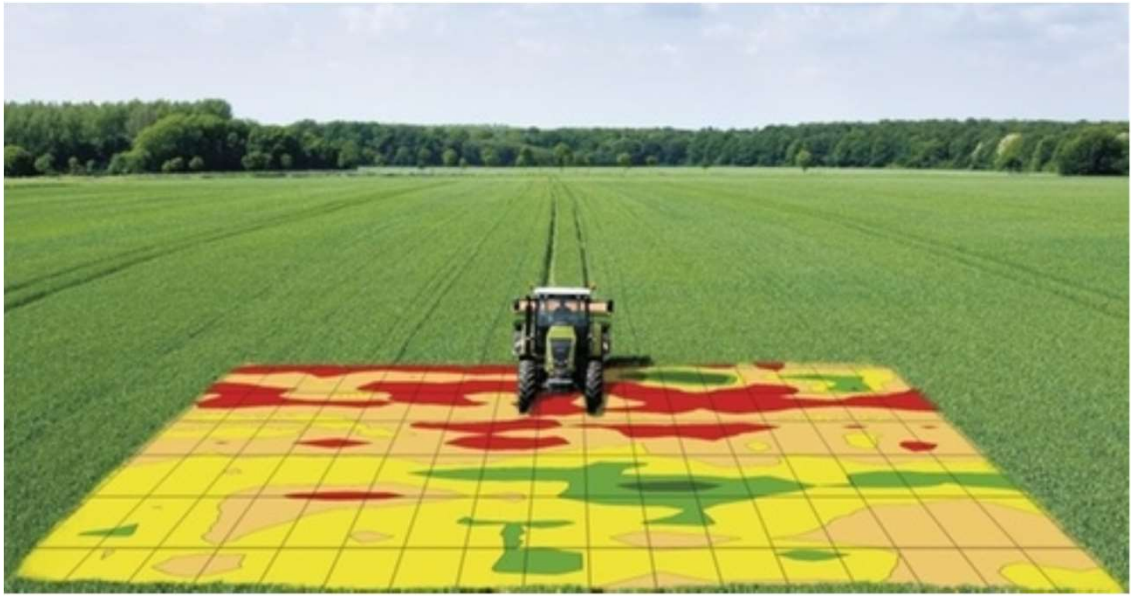




Evoluzioni e sviluppi futuri : l'agricoltura di precisione

L'**agricoltura di precisione** è una modalità di gestione dell'attività agricola che fa uso di dati rilevati, elaborati, analizzati e combinati per orientare le decisioni agronomiche con variabilità spaziale e temporale dell'uso dei mezzi di produzione (sementi, concimi, prodotti fitosanitari, acqua per irrigazione, ecc.) per migliorarne l'efficienza d'uso in vista di incrementi della produttività, della qualità, e della sostenibilità delle produzioni agricole.

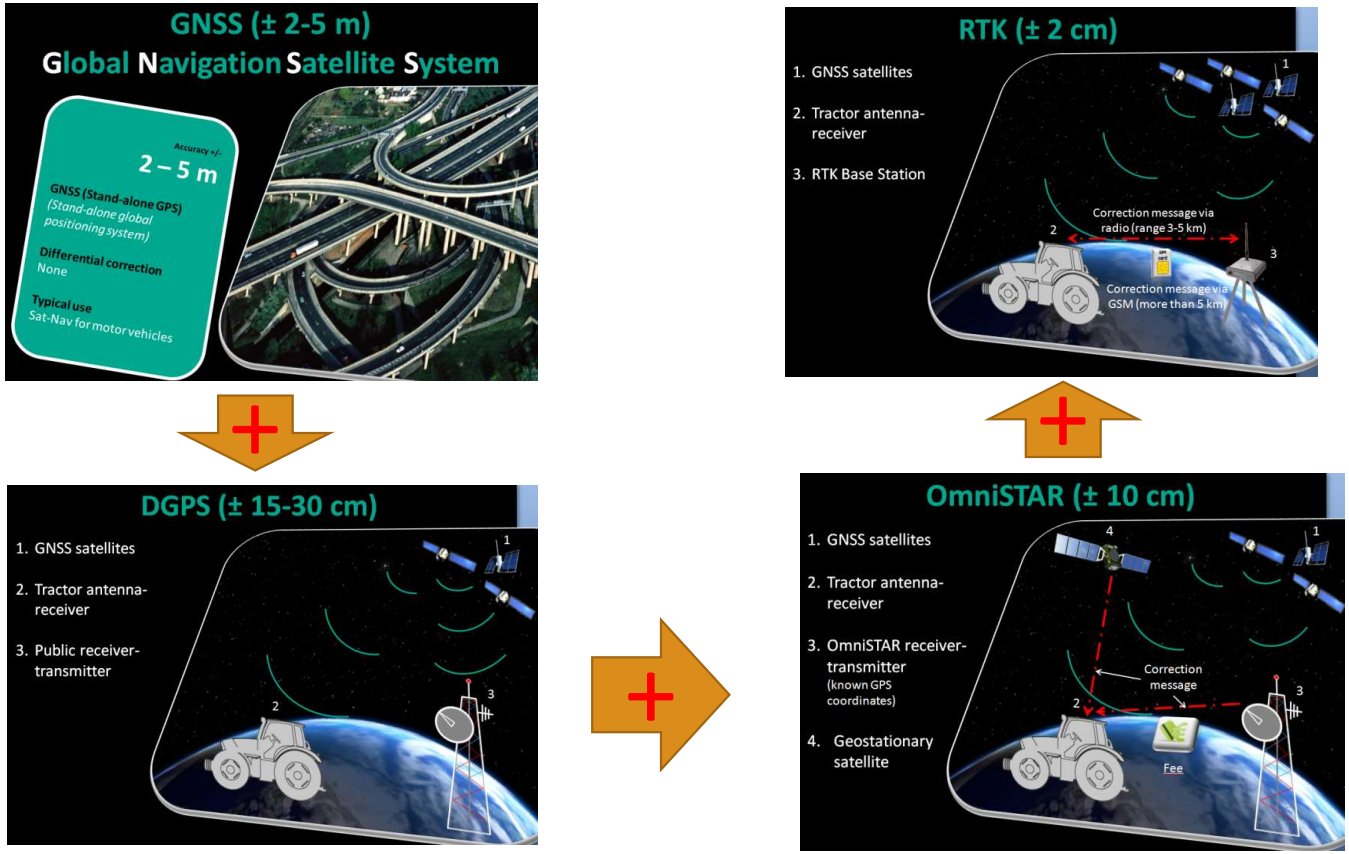
Il concetto base è l'applicazione del cosiddetto «**rateo variabile**», cioè intervenire in campo solo «quando serve, dove serve ed esattamente per ciò che serve».



Evoluzioni e sviluppi futuri : l’agricoltura di precisione

Uno dei caposaldi dell’agricoltura di precisione è la «**geolocalizzazione**», ovvero la definizione istante per instante e in tempo reale della posizione della macchine agricola che esegue una determinata lavorazione in campo.

Ci si avvale di sistemi di posizionamento, il più noto dei quali è il GPS (Global Positioning System).

Evoluzioni e sviluppi futuri

Le tipologie di segnali GPS (e l'entità dell'errore nella definizione della posizione) influenzano l'efficienza dell'impiego delle macchine in regime di agricoltura di precisione, ma anche per la loro produttività.