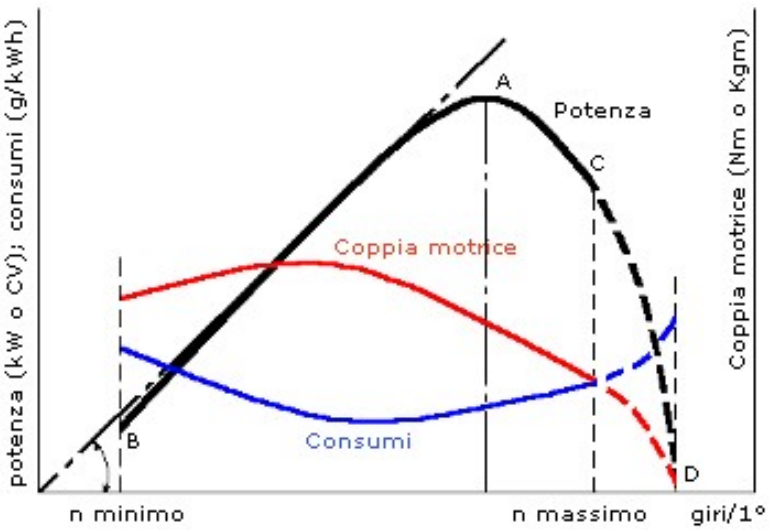
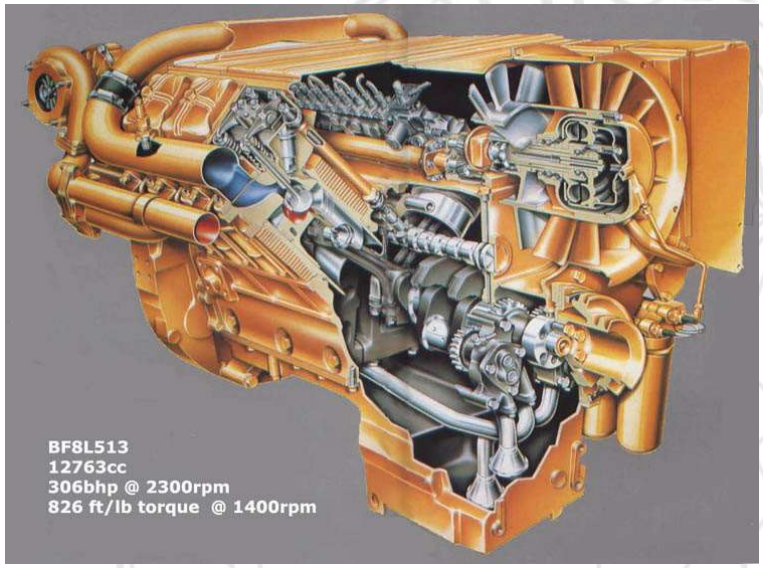
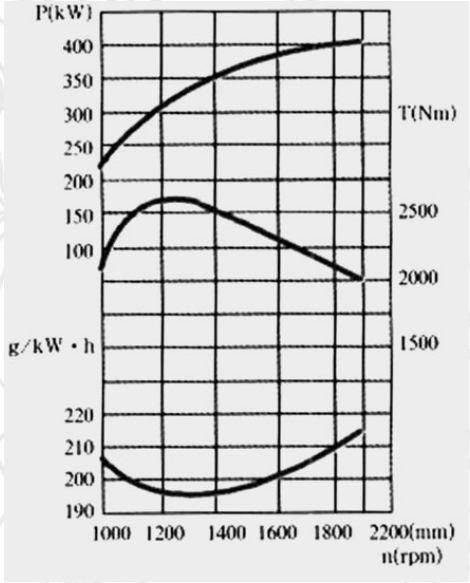
Corso di Meccanizzazione Agro-Forestale

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE E AMBIENTALI

Curve caratteristiche dei motori





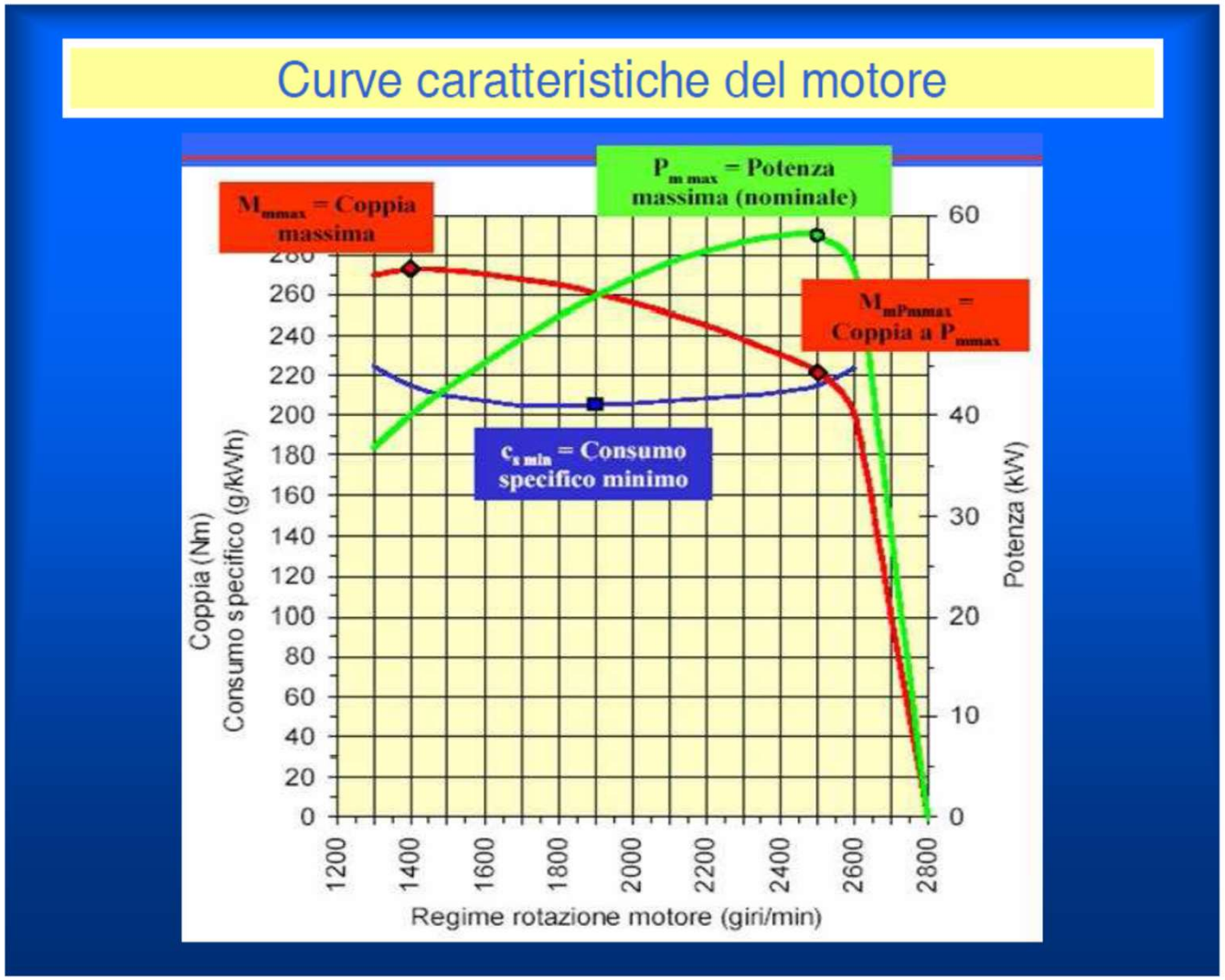


Prof. D. Pessina – a.a. 2021/22

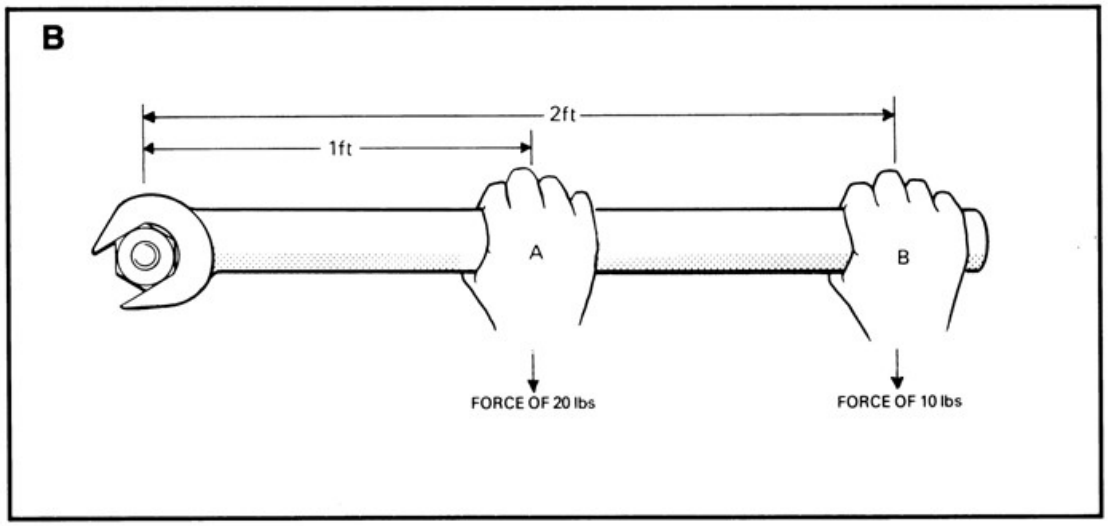
Le prestazioni di un motore sono definite dalle **curve caratteristiche**, cioè dai diagrammi che rappresentano le variazioni di potenza, di coppia motrice e di consumo del combustibile al variare del regime di rotazione. Queste curve vengono generalmente realizzate mediante i rilevamenti eseguibili al banco prova. Nella quasi totalità dei casi, le condizioni di funzionamento prevedono la massima alimentazione (cioè a piena mandata).

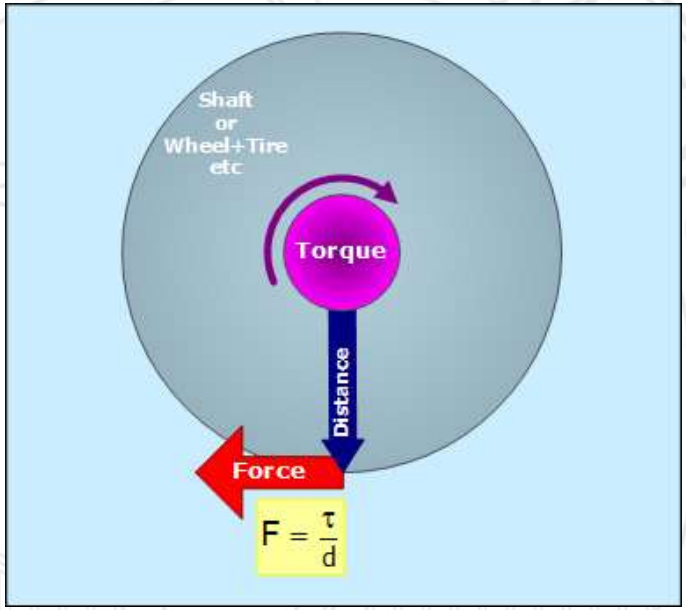
Le unità di misura: la potenza si esprime in kW (oppure in CV), mentre la coppia è calcolata in Nm o in kgm. Usualmente, le schede tecniche riportano la potenza in kW e la coppia in Nm. Si può comunque agevolmente passare da una unità di misura all'altra:

1 kW corrisponde a 1,36 CV, mentre 1 kgm equivale a 9,81 Nm.



Visto che, come anticipato, la coppia è la “base” della potenza, cerchiamo di capirne il significato aiutandoci con un paragone “ciclistico”. Prendiamo in considerazione, appunto, una bicicletta: per avanzare è necessario che il ciclista eserciti attraverso le gambe un forza (muscolare) sulle pedivelle. Analogamente, in un motore, la spinta esercitata dai gas di combustione sul pistone si scarica attraverso la biella (la gamba del ciclista) sulla manovella dell’albero motore (la pedivella) e lo mette in rotazione. Ebbene, la coppia non è altro che la capacità dei gas di combustione presenti nel cilindro di far ruotare l’albero motore, ovvero di produrre una spinta (che in questo caso servirà a muovere l’auto). Tanto più la coppia sarà elevata, tanto più facilmente e rapidamente il motore sarà messo in rotazione, con tutti i suoi organi collegati, con evidenti benefici effetti sulla qualità e sulla piacevolezza della guida.
Ci siamo certamente resi conto che andando in bicicletta non applichiamo sempre la stessa forza sui pedali, anzi essa sarà massima con la pedivella orizzontale e nulla con la pedivella verticale. La stessa cosa si verifica nel manovellismo pistone-biella-albero motore, per cui la coppia varia continuamente durante un ciclo di funzionamento: il valore che si prende in considerazione è quello medio.





GRANDEZZE MISURATE NEL COLLAUDO

Parametri operativi: definiscono le condizioni in cui il motore sta funzionando:

1. Velocità di rotazione albero
2. Carico (posizione relativa organo regolazione della potenza, oppure rapporto Coppia/Coppia max ad un dato regime)
3. Condizioni aria ambiente (pressione, temperatura, umidità)
4. Temperatura del fluido refrigerante e/o dell'olio
5. Parametri descrittivi del funzionamento dei sotto-sistemi: ad esempio pressione e temperatura all'uscita di un compressore, portata di gas di scarico ricircolato, ecc.

Parametri prestazionali: definiscono le prestazioni del motore nelle condizioni individuate dai parametri operativi:

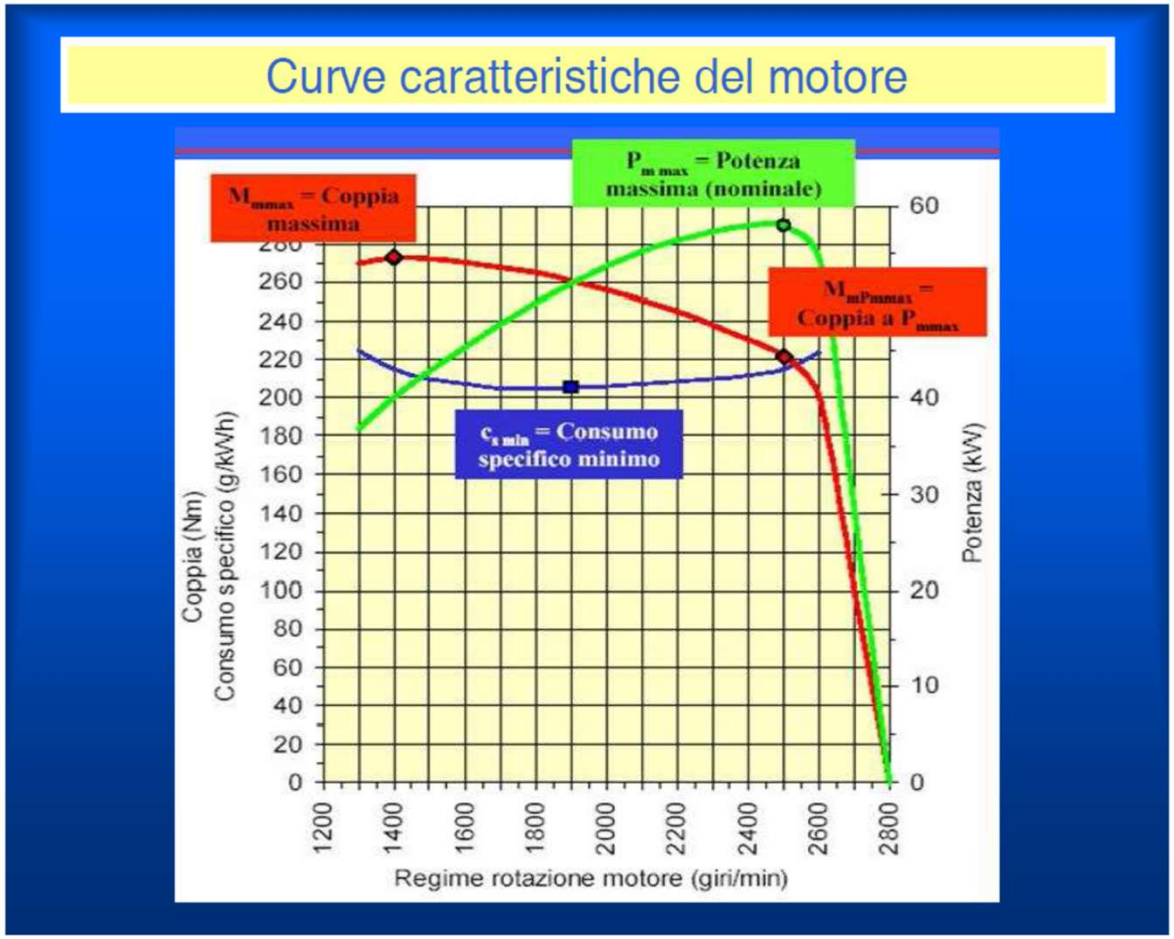
1. Coppia → Potenza
2. Portata di combustibile → Consumo specifico, rendimento globale del motore
3. Portata dei principali inquinanti: CO, CO_2, NO, NO_2, HC, particolato → Emissioni specifiche, ad esempio in [g/kWh]

La coppia è la “base” della potenza, perché quest’ultima si ottiene moltiplicando punto per punto il valore della coppia, misurato al banco di prova, per il corrispondente regime di rotazione. Basta infatti moltiplicare la coppia espressa in Nm con la velocità di rotazione espressa in giri/min e poi dividere il tutto per 9550, per ottenere la potenza del motore (espressa in kW) a quel determinato regime. Dal punto di vista fisico, quindi, la **potenza** è una misura della quantità di lavoro prodotta nell’unità di tempo: per come è definita, è una grandezza strettamente dipendente dalla presenza di uno spostamento (o di una rotazione, come nel caso dei motori).

$$P = \frac{L}{\Delta t}$$

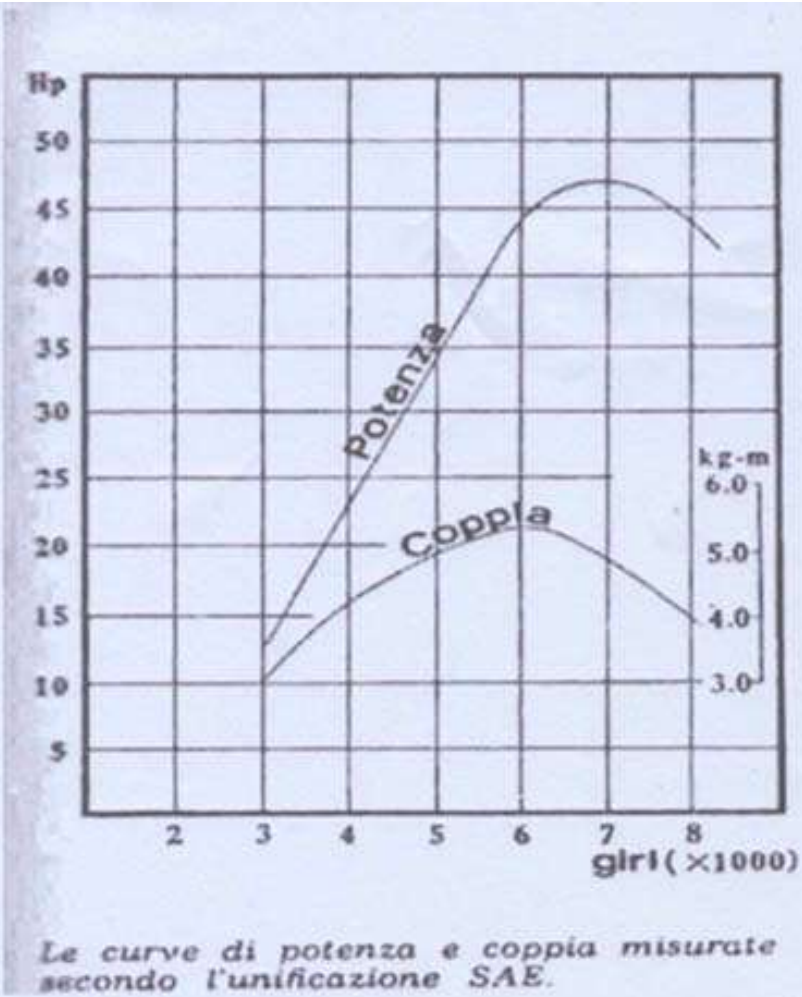
Si può fare un paragone ciclistico: si supponga di dover affrontare prima una salita e poi un tratto in pianura: a parità di forza impressa sui pedali (che, come visto, genera coppia), in salita ci si muoverà lentamente perché bisogna vincere, oltre agli attriti, anche la forza di gravità che tende a trascinarci all’indietro, mentre in pianura la spinta non dovrà preoccuparsi della forza di gravità. E’ evidente che nella seconda situazione si riuscirà a pedalare più speditamente pur applicando la stessa forza, producendo, in definitiva, più lavoro nello stesso lasso di tempo e quindi più potenza.
Un altro esempio: si supponga che la nostra bicicletta sia legata con una robusta catena ad un palo, per quanta forza noi possiamo imprimere sui pedali, generando certamente una coppia motrice, resteremo fermi, non produrremo alcun lavoro né erogheremo una potenza. E’ ancora una volta evidente come si possa parlare di potenza solo se è presente uno spostamento.

Osservando le curve da sinistra a destra, la **curva di potenza** ha una caratteristica forma ad “uncino”: essa risulta sempre crescente poiché, anche se da un certo punto in poi la coppia comincia a diminuire, il suo prodotto per il regime di rotazione del motore continua a crescere, fino al regime di potenza massima (che non è lo stesso della coppia massima, ma è ad un regime a volte ben superiore); oltre questo punto, il calo della coppia non è più compensato dall’incremento del regime di rotazione, e la curva presenta un breve tratto discendente in cui c’è una diminuzione della potenza erogata.



Curva di coppia: con il termine "coppia" si intende il momento torcente che l'albero motore può trasmettere. Il grafico della curva di coppia (o momento motore M_T) si realizza sperimentalmente per punti, frenando un motore al banco per mezzo di freni idraulici o elettrici. La curva suddetta viene rappresentata su un piano cartesiano che riporta sull'asse delle ascisse la velocità dell'albero di trasmissione (in rad/s) oppure il numero di giri che esso compie nell'unità di tempo (giri/min) e sull'asse delle ordinate il momento motore M_T espresso in Nm o in Kgm.

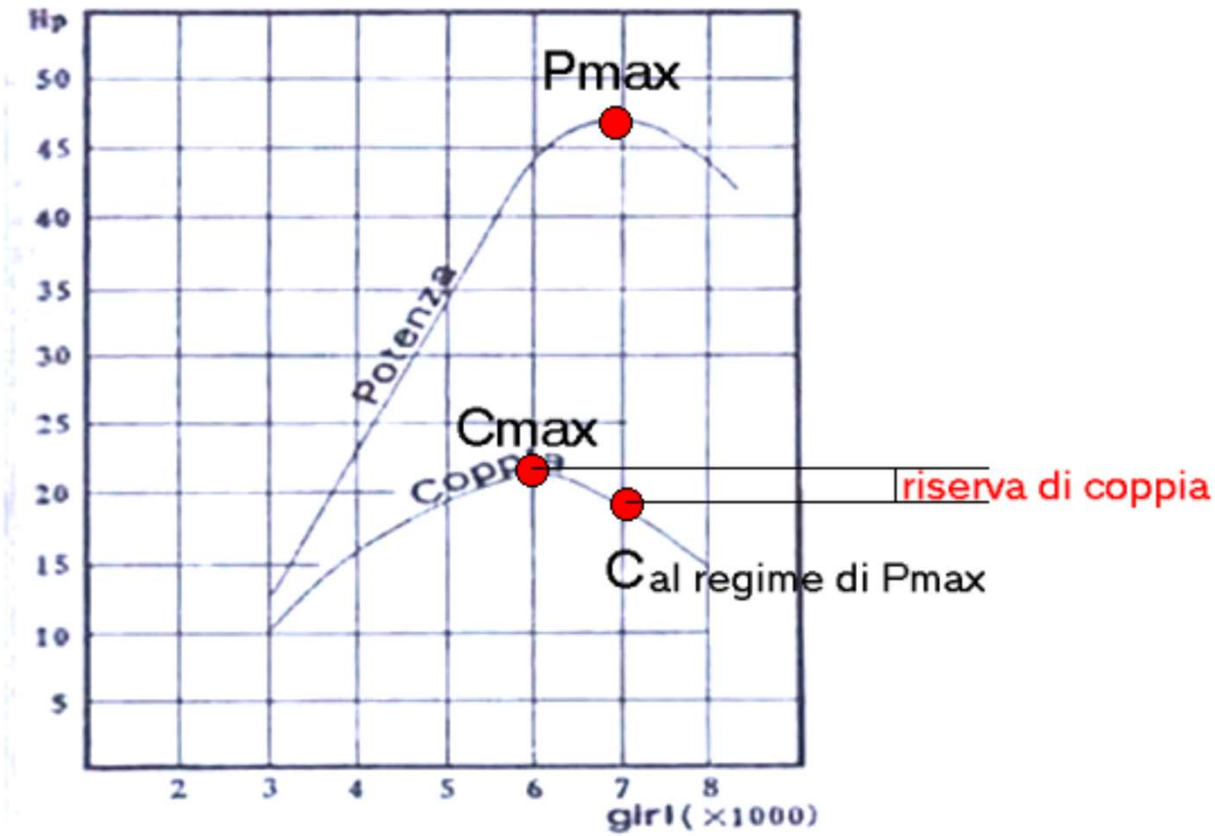
L'andamento della curva di coppia (da sinistra a destra) è, nel primo tratto, rapidamente crescente. Si raggiunge poi il punto di massimo assoluto della curva: tale punto, al quale corrisponde il valore di coppia massima, è associato alla velocità di rotazione in corrispondenza della quale la massa del fluido attivo che entra in ciascuno dei cilindri e viene utilizzata dal motore con il rendimento massimo possibile per ogni ciclo. Superato il punto di coppia massima, l'andamento della curva si presenta decrescente.



Le curve di potenza e coppia misurate secondo l'unificazione SAE.

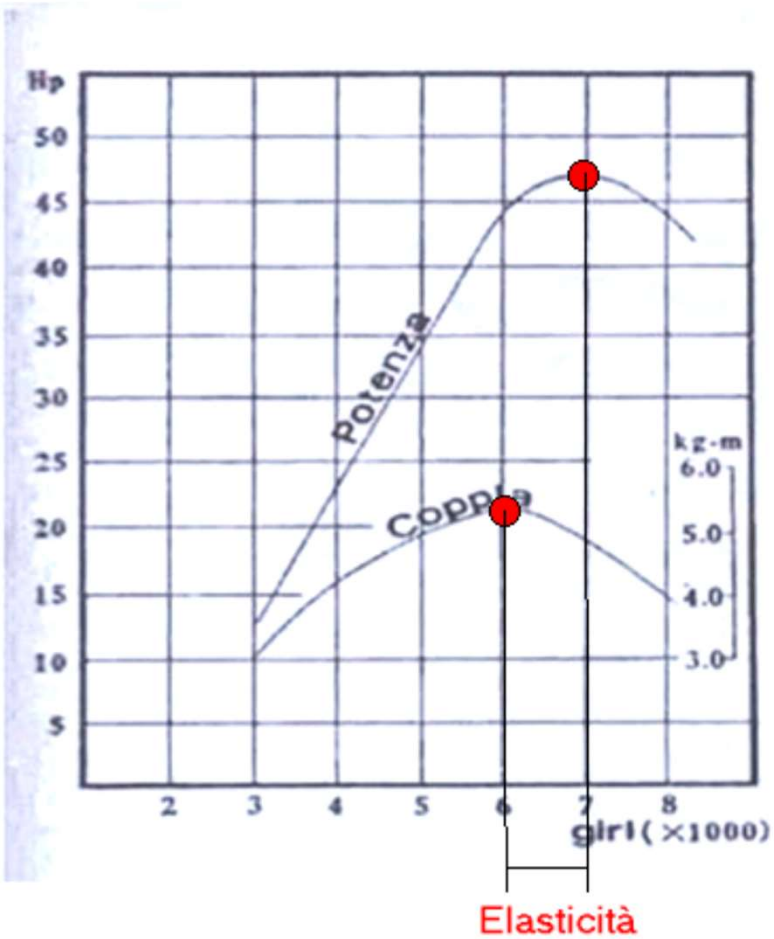
Partendo dai valori di coppia riscontrabili ai due differenti di rotazione è possibile andare a calcolare la riserva di coppia, parametro importantissimo per motori agricoli quando associati alle più semplici trasmissioni meccaniche. Matematicamente la riserva di coppia (**Ris_{coppia}**) espressa come percentuale, si calcola con la seguente formula:

$$\mathbf{Ris_{coppia}\ (\%)} = (Coppia_{max} - Coppia_{a\ pot.\ max} / Coppia_{a\ pot.\ max}) \times 100$$

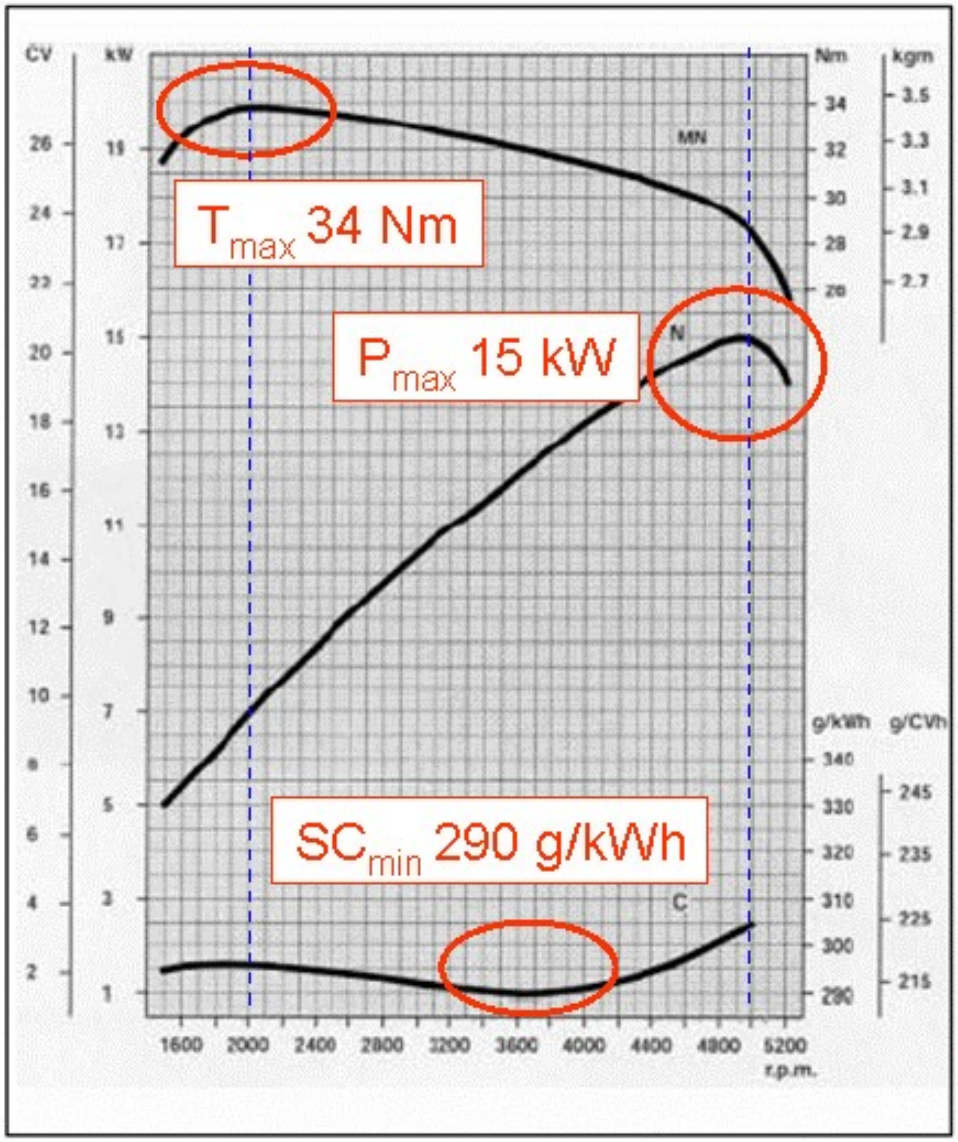


L'elasticità è invece l'attitudine di un motore a far fronte agli incrementi di carico senza dover «riprendere», ad esempio con un cambio marcia (ovvero del rapporto di trasmissione).
Si esprime in termini assoluti (ovvero in giri/min) per differenza tra il regime di potenza massima e quello di coppia massima.

Elasticità (giri/min) = Regime Pmax – Regime Cmax

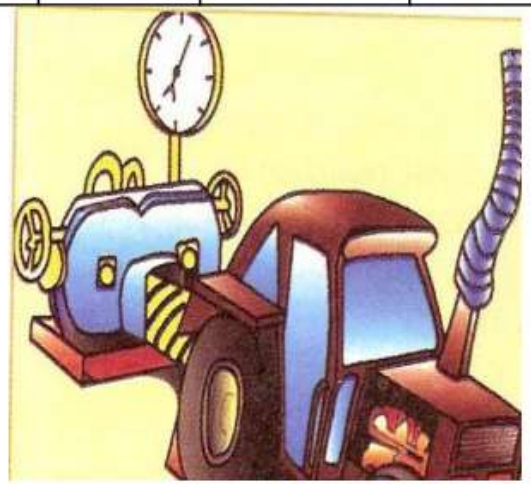


Curva dei consumi specifici: sempre osservando il grafico da sinistra a destra, si evince che la curva (con valori espressi in g/kWh) presenta dapprima un andamento decrescente, poi, raggiunto il punto di minimo assoluto, inizia a risalire. Al contrario delle curve di potenza e coppia che sono intrinsecamente legate da una relazione matematica, **l'andamento della curva dei consumi è influenzato da troppi parametri variabili per standardizzarne il comportamento**. In generale, si può dire che il minimo consumo di combustibile si riscontra per regimi medi di rotazione del motore. Infatti, se si osserva l'andamento della curva dei consumi, è facile notare come essa non presenti, specialmente nella zona centrale, forti pendenze. Questo particolare, tradotto in termini pratici, significa che esiste una zona dove il consumo specifico è, a grandi linee, equivalente. Viceversa, nella zona del grafico corrispondente ai bassi regimi di rotazione, e in quella finale associata ad elevati regimi, i consumi specifici sono più elevati.



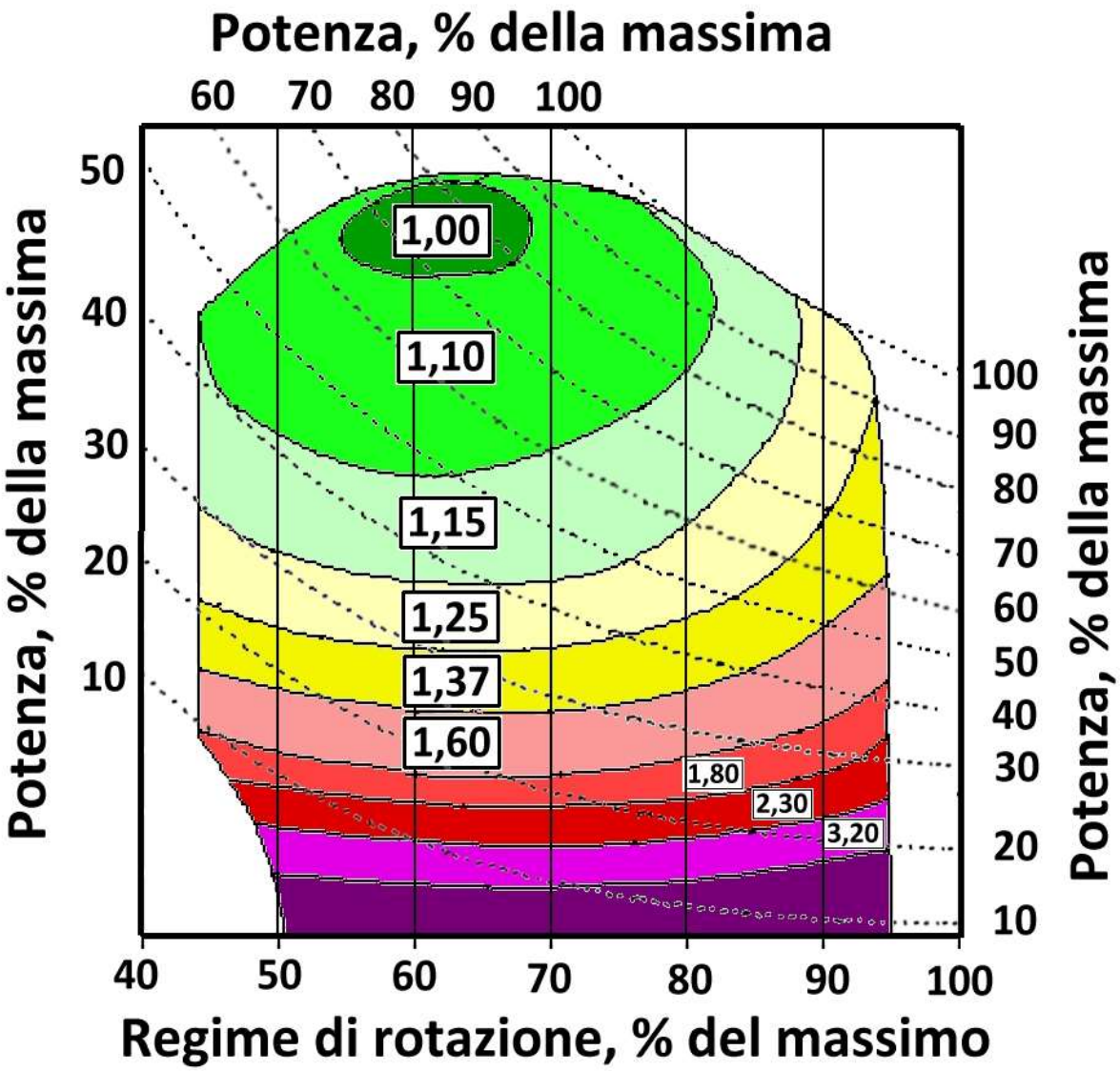
Modalità di quantificazione della potenza

NORME DI PROVA	ventilat + radiatore	filtro aria	scarico	temp. °C	Press. mm Hg	altitudine m s.l.m.
DIN	sì	si	si	20	760	0
ECE R-24	si (*)	si	si			
BS	no	si	si	29.4	736	150
SAE: net	sì	si	si	29.4	736	150
SAE: gross	no	si/no	no	29.4	736	150
ISO 14396	no	no	no			
9768-EC	no/si	no	no			



Curve a carico parzializzato

Il motore del trattore agricolo però funziona raramente «a tutto gas», e di norma sfrutta solo parzialmente la potenza massima che può erogare. Per calcolare quindi il consumo effettivo durante una certa lavorazione a questo punto è necessario fare ricorso al grafico di isoconsumo, per inserire il corretto coefficiente «peggiorativo» del consumo specifico, che varia in base al carico e al regime medio di rotazione del motore nell'esecuzione della lavorazione di volta in volta considerata.



- I costi per il gasolio arrivano ad incidere fino all'80% nel calcolo dei costi variabili di un trattore.

- A questi si aggiungono i costi fissi (es. ammortamento, rimessaggio, assicurazione) nonché quelli non preventivabili relativi a manutenzioni straordinarie (es. riparazioni).

- Il risparmio sulla voce principale, il gasolio, incide quindi in maniera notevole sul calcolo dei costi totali.

Per questi motivi, nella fase di progettazione di un trattore agricolo vi è sempre più la tendenza ad mettere a punto soluzioni progettuali che consentano di massimizzare l'efficienza di sfruttamento del potenziale energetico del combustibile.