

Storico

1 - Principi generali

Esistono due grandi famiglie di macchine che servono per spostare un fluido o generare un movimento rotatorio:

- le macchine a pistoni,
- le macchine comunemente definite "turbine".

Il funzionamento delle macchine a pistoni si basa sulla variazione dei volumi nel momento in cui i pistoni si spostano dalla loro posizione più bassa verso la loro posizione più alta e viceversa. In questo modo è possibile comprimere un fluido o fare scattare un fluido compresso, in particolare se si tratta di un fluido gassoso.

Le macchine a pistoni sono dotate di meccanismi di trasformazione di un movimento alternato in un movimento rotatorio e viceversa.

Questi meccanismi, in genere abbastanza complicati, si basano spesso su un sistema di bielle, ma si trovano anche sistemi con alberi a camme, piastre, ecc.

In queste macchine, i pistoni sfregano sempre sul cilindro.

Per mantenere una giusta pressione, devono essere dotati di segmenti a tenuta stagna.

Nella maggior parte dei casi, compresi i compressori e i motori termici a combustione interna, bisogna raffreddare il gruppo pistone-segmenti-cilindro per garantire la qualità dell'olio di lubrificazione e il minimo sfregamento untuoso tra i diversi componenti.

Il funzionamento delle turbine si basa sulla rotazione di un rotore dotato di palette nello statore. In questo caso non è necessario un convertitore di movimento.

Le turbine non possono funzionare ad alte pressioni, in quanto non possiedono nessun dispositivo in grado di far variare i volumi tra le palette. Per definizione, una turbina non è volumetrica.

Ma presentano un grande vantaggio: le palette non sfregano all'interno dello statore.

La sezione "Tecnologie" spiega in che modo è possibile conciliare i vantaggi della macchina a pistoni con quelli della turbina, creando così una macchina:

- sprovvista di convertitore di movimento;
- i cui componenti che definiscono il volume di esercizio non presentano nessuno sfregamento;
- nella quale è possibile generare variazioni di volume e di pressione;
- nella quale la tenuta stagna si ottiene con perdite di carico controllate.

2 - Casi particolari

2.1 - Termodinamica dei motori termici

2.11 - I fondamenti della termodinamica

La termodinamica si basa sui seguenti fondamenti:

Storico

- l'energia non può provenire dal nulla o essere distrutta;
- le forme di energia possono solo essere trasformate: il carburante in calore e il calore in energia meccanica;
- il calore non può mai essere totalmente trasformato in lavoro meccanico, se non a causa degli sfregamenti generati nei punti di appoggio delle parti in movimento;
- tutti i processi naturali e tecnici di trasformazione di energia sono irreversibili ed avvengono nel modo più probabile, e in questo modo il calore passa liberamente dai corpi più caldi a quelli più freddi;
- l'effetto inverso, cioè il passaggio dal freddo al caldo, si ottiene solo con un apporto di energia.

2.12 - Tipi di trasformazione

Le trasformazioni termodinamiche si differenziano a seconda delle condizioni nelle quali si verificano. In questo modo, una trasformazione:

- a pressione costante è chiamata isobara;
- a volume costante è chiamata isocora;
- a temperatura costante è chiamata isoterma;
- senza scambio di calore è chiamata adiabatica;
- senza scambio di calore e senza sfregamento è chiamata isoentropica;
- con cambiamento di stato generale è chiamata politropica.

Quando studiamo i cicli teorici dei gas perfetti, possiamo esprimere le leggi di queste trasformazioni applicando il principio della costante di L.J. Gay Lussac (1778 - 1850): $PV = RT$. Egli definiva la costante in questo modo: $PV = R(267 + t)$, valore prossimo a $PV = R(273,15 + t)$.

La legge di Gay-Lussac, unita a quella di Boyle-Mariotte permetterà di definire, qualche anno più tardi, la legge dei "gas perfetti" la cui equazione di stato si scrive $PV = nRT$ ou $PV = NkT$ e che sta alla base dei modelli semplici dei gas all'interno dei sistemi termodinamici.

2.13 - Principio di funzionamento

L'energia chimica contenuta nel carburante si trasforma in calore attraverso un processo di combustione che richiede ossigeno e questa energia calorica si trasforma a sua volta in lavoro, grazie a dei componenti meccanici che formano un gruppo chiamato motore termico.

2.14 - Classifica dei motori termici

Quando la combustione avviene all'interno del motore, parliamo di combustione interna. Esistono due possibilità e in entrambi i casi il circuito è aperto:

- il processo di lavoro è ciclico e occorre di volta in volta introdurre un carico nuovo e alimentare con una certa quantità di gas combustibili; ciò avviene nei motori a pistoni alternati;
- il processo di lavoro è continuo e la sostituzione del carico avviene senza interruzione,

come nelle turbine a gas.

Quando la combustione avviene all'esterno del motore, parliamo di combustione esterna. In questo caso, il processo di lavoro può essere continuo e il circuito chiuso, in quanto il fluido

Storico

motore può rimanere chimicamente immutato e subire cambiamenti di stato senza dovere essere sostituito.

Il condizionamento della miscela aria-carburante fuori dal luogo di combustione favorisce l'omogeneizzazione. In questo caso parliamo di condizionamento esterno o omogeneo della miscela.

Quando la miscela si forma all'interno del luogo di combustione, le condizioni sono meno favorevoli. In questo caso si ottiene una miscela eterogenea. Si parla dunque di condizionamento interno o eterogeneo della miscela.

Se la combustione si innesca in seguito ad una scintilla elettrica, parliamo di accensione comandata, se invece la miscela si infiamma spontaneamente perchè ha raggiunto la temperatura di autocombustione, parliamo di autoaccensione.

2.15 - Cicli termodinamici

La conversione dell'energia calorica in energia meccanica è possibile solo se il fluido motore cambia stato.

Questi cambiamenti di stato sono generalmente rappresentati dai diagrammi che esprimono due grandezze di stato:

- aumento o diminuzione della temperatura;
- aumento o diminuzione della pressione;
- aumento o diminuzione del volume.

Generalmente, le coordinate di un diagramma esprimono i rapporti:

- pressione-volume in un diagramma p-V;
- temperatura-entropia in un diagramma T-S;
- entalpia-entropia in un diagramma H-S.

Lo studio della termodinamica ha portato diversi esperti a proporre diversi cicli di funzionamento. Noi ci occuperemo soltanto di quelli che sono ancora oggi utilizzati:

- Nel 1862, A. Beau de Rochas (1815-1893) ha inventato la compressione e il ciclo a quattro tempi. E' il ciclo di riferimento per i moderni motori a benzina a quattro tempi.
- Nel 1867 N.A. Otto ha costruito un motore sulla base di questo ciclo, ma ha poi dovuto abbandonare il suo progetto in seguito ad un processo, in quanto non era in possesso del brevetto.
- Nel 18.., J. Joule . (1818 - 1889) ha inventato il ciclo a pressione costante. E' il ciclo di riferimento per i motori delle turbine a gas.
- Sabathé, di cui non si conosce il nome, è stato l'inventore di un ciclo misto che comprendeva i cicli di A. Beau de Rochas e di R. Diesel. Questo è il ciclo di riferimento per i motori a gasolio che molte persone ancora oggi chiamano erroneamente "motore Diesel".

2.16 - Requisiti particolari dei carburanti

I carburanti utilizzati nei motori si suddividono in tre categorie, in base ai particolari requisiti imposti per ciascuno di essi:

- la categoria dei carburanti destinati ai motori a condizionamento omogeneo e ad accensione comandata;

Storico

- la categoria dei carburanti destinati ai motori a condizionamento eterogeneo e ad autoaccensione;
- la categoria dei carburanti destinati ai motori delle turbine a gas a fiamma continua.

Tra i carburanti destinati ad un condizionamento omogeneo compaiono anche le benzine piombate, le benzine senza piombo, i gas di petrolio liquefatto, ecc.

Questi carburanti devono essere molto volatili in modo da favorire il condizionamento omogeneo della miscela aria-carburante. E' dunque necessario imporre parametri severi relativi alle caratteristiche di volatilità, tra cui:

- la curva di ebollizione che fornisce la percentuale di carburante vaporizzato in funzione della temperatura;
- la pressione del vapore;
- il rapporto vapore-liquido che permette di stabilire la tendenza del carburante a formare delle bolle di vapore;
- la massa volumica che permette di determinare certi tipi o i componenti dei carburanti;
- il contenuto in piombo che non può essere superato;
- che indica il potere antidetonante della benzina.

Questi requisiti sono normalizzati!

Tra i carburanti destinati ad un condizionamento eterogeneo compare un nome soltanto: il gasolio.

Si tratta di una miscela di diversi idrocarburi con un punto di ebollizione compreso tra 180° e 360° Celsius.

I requisiti principali imposti al gasolio sono:

- la massa volumica;
- la curva di ebollizione;
- la viscosità cinematica;
- il punto di infiammabilità;
- il numero di cetano.

Anche questi requisiti sono normalizzati!

I requisiti principali imposti ai carburanti destinati alle turbine a gas sono:

- la viscosità;
- la quantità di impurità di ogni tipo, e in particolare lo zolfo, il sodio, il vanadio e il piombo.

I motori a combustione esterna sono quelli che prevedono meno requisiti per i carburanti. In effetti, il fluido motore e il gas combustibile non sono sempre gli stessi. E' sufficiente che il carburante bruci in modo sufficientemente rapido e non lasci residui.

2.17 - La combustione

La combustione avviene in due modi diversi:

- in modo ciclico nei motori a pistoni alternati, dopo ogni sostituzione del carico;
- in modo continuo nei motori delle turbine a gas.

Storico

La combustione ciclica è quella più problematica. In effetti, deve avvenire in tempi record. Ad esempio, in un motore a quattro tempi che gira a 6000 giri/minuto, il ciclo avviene in:
 $1/(6000/2/60) = 1/50 = 0,02 \text{ sec.}$

Dal momento che il ciclo comprende l'aspirazione, la compressione, lo scatto e la mandata e la combustione può avvenire solamente durante il tempo di scatto, questo deve durare solo:
 $0,02/4 = 0,005 \text{ sec.}$

Questi tempi vengono divisi circa per tre in un motore a due tempi.

Nei motori a condizionamento omogeneo e ad accensione comandata, la fase di accensione è praticamente costante nel tempo e dipende unicamente dalla composizione della miscela, mentre a diffusione del calore è innanzitutto determinata dalla forma della camera di combustione e dalla posizione del punto di accensione.

La velocità di combustione è determinata dal processo di diffusione delle fiamme, dall'intensità delle turbolenze e dall'evoluzione della temperatura nella parte di miscela che non brucia ancora.

Dal momento che la durata della combustione è costante nel tempo e che la combustione deve avvenire prima dello scatto, bisogna prevedere un dispositivo che permetta di regolare il momento di accensione ottenuto in anticipo, in modo che l'energia calorica contenuta nel carburante sia al minimo quando deve essere trasformata in energia meccanica al momento dello scatto.

Nei motori a condizionamento eterogeneo, l'autocombustione avviene poco prima della fine della compressione. Il carburante viene dunque iniettato nell'aria altamente compressa e riscaldata ad una temperatura compresa tra 700° e 900° Celsius.

La combustione avviene in due fasi, secondo quanto spiegato nel ciclo di Sabathé:

- una fase in cui il carburante iniettato prima dell'accensione si infiamma: è il calore isocoro, secondo quanto spiegato nel ciclo di A. Beau de Rochas;
- una seconda fase nella quale il carburante iniettato dopo l'inizio della combustione inizia a bruciare: è il calore isobaro, secondo quanto spiegato nel ciclo di R. Diesel.

La combustione continua nei motori delle turbine a gas o a combustione esterna deve essere stabile e regolare. Sono le due caratteristiche principali.

2.18 - Rendimento termodinamico

Il rendimento termodinamico di un motore termico dipende dalla quantità di calore dissipato, cioè perso. Questo valore è uguale a:

$$\eta = (\theta' - \theta'') / \theta''$$

dove η è il rendimento,

θ' la quantità di calore fornito e

θ'' la quantità di calore dissipato.

Storico

2.2 - Configurazione meccanica dei motori termici

2.21 - I motori alternativi a benzina a quattro e a due tempi

Il motore alternativo a benzina è un motore a condizionamento omogeneo della miscela aria-carburante e ad accensione comandata.

Il carburante utilizzato è soprattutto la benzina, ma si può utilizzare anche un prodotto sostitutivo come ad esempio il gas di petrolio liquefatto.

Il condizionamento avviene sia nel carburatore, sia indirettamente nel collettore di aspirazione, sia direttamente nel cilindro nel quale il carburante viene iniettato ciclicamente.

La miscela viene periodicamente compressa in un cilindro di lavoro fino ad ottenere una pressione compresa tra 15 e 25 bar.

La temperatura di compressione che ne deriva e che varia dai 400° ai 600° Celsius è ancora inferiore alla soglia di autocombustione; il carburante deve dunque essere infiammato perchè sia possibile trasformarlo in energia calorica.

La combustione provocata da una scintilla avviene in modo molto rapido. Genera un aumento della pressione uguale a circa sette volte quella ottenuta alla fine della compressione, mentre la pressione media efficace è circa uguale a quella ottenuta alla fine della compressione.

La combustione provocata da una scintilla avviene in modo molto rapido. Genera un aumento della pressione uguale a circa sette volte quella ottenuta alla fine della compressione, mentre la pressione media efficace è circa uguale a quella ottenuta alla fine della compressione.

Il rinnovo del carico in un motore a quattro tempi avviene con l'aiuto di un dispositivo con valvole, mentre nei motori a due tempi avviene attraverso luci disposte in prossimità del punto morto inferiore.

Il lavoro utile generato viene trasformato con un sistema di bielle ed una coppia motore disponibile sull'estremità dell'albero a gomiti. Questo sistema di bielle è complesso e richiede un motore che giri lentamente e si mantenga a dei regimi compresi tra 800 e 1200 giri/minuto, perchè il motore non perda potenza. Ciò comporta un enorme consumo di carburante, soprattutto dove la circolazione non è fluida.

Possiamo constatare fin d'ora che:

- il rapporto tra la fatica massima dei componenti meccanici sottoposti alla pressione di punta e la fatica media di questi stessi componenti è uguale a p_{max}/p_{me} ;
- il dimensionamento dei componenti è determinato dalla pressione di punta alla quale si aggiunge un margine di sicurezza e non dalla pressione media efficace; sono dunque necessari dei componenti decisamente sovradimensionati.

Vantaggi del motore a benzina:

- sistema comprovato da anni;
- strutture economiche basate su questo tipo di motore;
- configurazione pistone/cilindro che favorisce le alte pressioni.

Storico

Svantaggi del motore a benzina:

- necessità di carburanti sofisticati;
- cattivo rapporto p_{max}/p_{me} ;
- cattivo rendimento: solo circa il 30% dell'energia calorica contenuta nel carburante si trasforma in energia meccanica;
- emissioni tossiche relativamente alte: NO, HC, CO;
- rumoroso;
- necessita di un cambio.

2.22 - I motori alternativi a gasolio a quattro e a due tempi

Il motore alternativo a gasolio è un motore a condizionamento eterogeneo della miscela aria-carburante.

Il condizionamento avviene nel cilindro o in un'apposita camera della testata, con sbocco sul cilindro. La camera di Ricardo è un esempio.

Lo svolgimento di queste operazioni è simile alla procedura valida per i motori a benzina, ad eccezione di quanto segue:

- l'aria è compressa fino ad un valore compreso tra 30 e 55 bar;
- la temperatura di compressione varia tra 700° e 900° Celsius, in modo da superare la soglia dell'autocombustione;
- l'iniezione avviene poco prima del punto morto superiore;
- a volte la pressione di punta raggiunge i 200 bar, ma in generale si colloca intorno ai 150 bar; alcuni motori di laboratorio hanno raggiunto una pressione superiore ai 240 bar;
- la pressione media efficace non supera il 30% di quella ottenuta alla fine della compressione nei motori a gasolio atmosferici, mentre si mantiene uguale a quella ottenuta alla fine della compressione nei motori con raffreddamento dell'aria di sovralimentazione.

Il margine di sicurezza nei motori ad iniezione di gasolio deve essere superiore rispetto a quello dei motori a benzina, in quanto bisogna tenere conto della perdita di potenza durante l'autocombustione che fa aumentare la pressione di punta del giro seguente.

In base a quanto detto, e tenuto conto dell'elevata pressione di compressione presente nei motori a gasolio, i picchi della pressione provocati dalla combustione spontanea richiedono un gruppo motore relativamente pesante.

Inoltre, dal momento che i motori a condizionamento eterogenei devono funzionare in presenza di un eccesso di aria, anche a pieno carico, i motori a gasolio hanno una potenza volumica ridotta.

Vantaggi del motore a gasolio:

- sistema comprovato da tempo;
- strutture commerciali basate su questo tipo di motore;
- configurazione pistone/cilindro che favorisce le alte pressioni.

Svantaggi del motore a gasolio:

- costi di fabbricazione elevati;
- cattivo o pessimo rapporto p_{max}/p_{me} ;

Storico

- ridotta potenza volumica, la cilindrata di un motore a gasolio è generalmente 1,5 volte superiore a quella di un motore a benzina con la stessa potenza;
- cattivo rendimento: solo circa il 30% dell'energia calorica contenuta nel carburante si trasforma in energia meccanica;
- valori di emissione sfavorevoli: fuliggine e corpi incombusti;
- da rumoroso a molto rumoroso;
- richiede un cambio di grande capacità.

2.23 - Turbina a gas

La turbina a gas è un motore a condizionamento eterogeneo della miscela aria-carburante e a fiamma continua.

E' un motore policarburante che funziona con combustibili liquidi, gassosi o emulsionati.

Il condizionamento avviene in una camera di combustione separata, dove un iniettore ripartisce finemente il combustibile nell'aria comburente, in modo che la miscela si inneschi e si ottenga un livello di combustione elevato.

La compressione avviene e il lavoro si ottiene per mezzo di turbine ad alette che girano senza sfregare nel rispettivo alloggiamento.

La configurazione così ottenuta autorizza regimi molto elevati, con un flusso di gas che raggiunge e a volte supera in certi punti del sistema la velocità del suono, nonostante i calcoli si basino su una velocità massima dei gas dell'ordine di 0,8-0,9 Mach.

L'aria aspirata viene prima compressa fino ad un valore compreso tra 4 e 6 bar, successivamente attraversa uno scambiatore di calore nel quale aumenta di temperatura, e infine raggiunge la camera di combustione dove si unisce ad un carburante per formare un gas che, bruciando, aumenta di temperatura e dunque di volume. I gas cedono una parte della loro energia ad una turbina di lavoro ed eventualmente un'altra parte allo scambiatore di calore, disperdendo il resto nell'atmosfera.

Dal momento che le pressioni di esercizio sono poco elevate, la potenza si ottiene solo con dei regimi che dipendono logicamente dalle dimensioni della turbina. In questo modo, una turbina a gas destinata ad un'automobile funzionerà ad un regime di giri compreso tra 8000 e 70.000 giri/minuto.

Vantaggi della turbina a gas:

- funzionamento policarburante;
- marcia regolare;
- buon rapporto p_{max}/p_{me} ;
- valori di emissione favorevoli senza impianto.

Svantaggi della turbina a gas:

- cattivo rendimento: solo circa il 30% dell'energia calorica contenuta nel carburante si trasforma in energia meccanica;
- deboli pressioni di esercizio;
- regimi di giri spesso troppo elevati;
- costi di fabbricazione elevati;

Storico

- grande consumo di carburante;
- non adatto a sistemi di debole potenza;
- rumoroso a causa della velocità dei gas;
- richiede riduttori costosi.

2.24 - Lubrificazione

E' proprio in questo tipo di motore, il cui utilizzo è ampiamente diffuso, che la lubrificazione è più complessa. In effetti, il motore alternativo comprende numerosi punti da lubrificare, tra cui in particolare il gruppo pistone-segmenti-cilindro o la camicia che, dal punto di vista della lubrificazione, presenta una configurazione particolarmente delicata:

- da una parte, la combustione deve avvenire a livelli di temperatura superiori a 2000 K perchè sia quanto più completa possibile;
- dall'altra parte, la temperatura di funzionamento dell'olio utilizzato per la lubrificazione della guida dei pistoni nel loro cilindro non deve superare i 125° Celsius, in modo che non si generi un'eccessiva aderenza.

In questo caso, la turbina a gas è più pratica in quanto le palette non entrano in contatto con il loro alloggiamento.

2.25 - Raffreddamento

Dal momento che un olio che brucia perde il suo potere lubrificante, occorre, nel caso del motore alternativo, che le parti esposte al calore generato dalla combustione siano intensamente raffreddate perchè l'olio mantenga il suo potere lubrificante.

Il raffreddamento provoca l'evacuazione forzata di oltre il 30 % dell'energia calorica contenuta nel carburante: da una parte si toglie ciò che è stato introdotto dall'altra.

2.25 - Gas di scarico

Nei motori alternativi, oltre il 30 % dell'energia contenuta nel carburante viene dissipata attraverso lo scarico:

- sottoforma di calore, poichè il volume di dispersione è uguale al volume di compressione, il volume di dispersione non è superiore al volume di compressione in un rapporto proporzionale alla quantità di calore aggiunto al momento della combustione;
- sottoforma di idrocarburi parzialmente o completamente incombusti, in quanto i tempi a disposizione del carburante per cambiare completamente stato sono troppo brevi, in effetti 0,002 / 0,01 sec non sono sufficienti, e il rapporto aria-carburante non permette sempre una buona ossigenazione.

Nelle turbine a gas, i tempi di passaggio dei gas combustibili sono troppo brevi per ottenere uno scatto ed un raffreddamento tali da ridurre le perdite dallo scarico. Dunque il 70/80 % dell'energia calorica contenuta nel carburante viene dispersa sottoforma di calore, ad eccezione nel caso in cui il calore sia parzialmente trasmesso all'aria compressa attraverso uno scambiatore di calore.

Storico

2.3 - Bilancio e conclusione

2.31 - Bilancio

Prima di eseguire questo bilancio, è importante definire la seguente tabella comparativa:

Oggetto di confronto	Motore alternativo a benzina	Motore alternativo a gasolio	Turbina a gas
Rapporto volume di dispersione / volume di esercizio	uguale a 1	uguale a 1	superiore a 1
Scambio di calore	impossibile	impossibile	realizzabile
Scelta dei carburanti	normalizzata	normalizzata	libera
Tipo di combustione	ciclica	ciclica	continua
Resistenza alle pressioni	elevata	elevata	modesta
Rapporto pressione massima / pressione media efficace	cattivo	cattivo	favorevole
Energia calorica trasformata in energia meccanica	da 30 a 35 % a seconda delle circostanze	da 30 a 35 % a seconda delle circostanze	da 20 a 30 % a seconda delle circostanze
Perdite nel sistema di raffreddamento	da 30 a 35 % a seconda delle circostanze	da 30 a 35 % a seconda delle circostanze	nessuna
Perdite nel sistema di scarico	da 30 a 35 % a seconda delle circostanze	da 30 a 35 % a seconda delle circostanze	da 70 a 80 % a seconda delle circostanze
Emissioni di gas	tossici	tossici	accettabili
Livello sonoro	elevato	elevato	elevato
Sfregamenti sulla superficie di lavoro	sì	sì	no
Lubrificazione sulla superficie di lavoro	pericolosa	pericolosa	inutile
Raffreddamento	obbligatorio	obbligatorio	inutile
Cambio	obbligatorio	obbligatorio	
Riduttore di regime			obbligatorio

2.32 - Conclusione

Per la realizzazione di un motore termico, è sufficiente tenere presente i seguenti argomenti, già presentati nei paragrafi precedenti:

- I motori a combustione esterna sono quelli che prevedono meno requisiti per i carburanti. In effetti, il fluido motore e il gas combustibile non sono sempre gli stessi. Basta che il carburante bruci in modo sufficientemente rapido e non lasci residui.
- La combustione continua nei motori delle turbine a gas o a combustione esterna

Storico

deve essere stabile e regolare. Sono le due caratteristiche principali.

- Vantaggi del motore a benzina: configurazione pistone/cilindro che favorisce le alte pressioni.
- Vantaggi del motore a gasolio: configurazione pistone/cilindro che favorisce le alte pressioni.
- Vantaggi della turbina a gas: funzionamento policarburante, marcia regolare, buon rapporto pressione massima/pressione media efficace, valori di emissione favorevoli senza impianto.

Dal momento che ci troviamo, come si dice, davanti ad una pagina bianca, i punti seguenti devono essere fissati per formare una sorta di capitolato:

- un motore a combustione esterna;
- funzionamento policarburante;
- configurazione che favorisce le alte pressioni;
- configurazione che favorisce le alte temperature;
- marcia regolare e silenziosa;
- buon rapporto pressione massima / pressione media efficace;
- valori di emissione favorevoli senza impianto, dunque senza sistema di scarico;
- assenza di lubrificazione sulla superficie di lavoro;
- assenza di lubrificazione sulla superficie di lavoro;
- assenza del cambio;
- assenza di convertitore di movimento.

Le sezioni "Tecnologie" e "Applicazioni" mostrano in che modo compilare questo capitolato.