

<b>DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO</b>	<b>102021000028244</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>05/11/2021</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>05/05/2023</b>

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	16	H	1	28

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	02	C	7	36

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	16	H	57	08

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	16	H	55	17

Titolo

<b>SCATOLA AD INGRANAGGI SIMMETRICI COMPOSTI PER UNA TURBOMACCHINA</b>
--

## DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo: "SCATOLA  
AD INGRANAGGI SIMMETRICI COMPOSTI PER UNA TURBOMACCHINA"

di GE AVIO S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA I MAGGIO 99

10040 RIVALTA DI TORINO (TO)

Inventori: HRUBEC Juraj, COVIELLO Leonardo

\*\*\*

### **CAMPO**

Il presente argomento in oggetto riguarda in generale le turbomacchine che includono gruppi di ingranaggi e, in particolare, disposizioni di gruppi di ingranaggi composti per conseguire bassi rapporti di trasmissione.

### **BACKGROUND**

I motori a turbina a gas impiegano gruppi di ingranaggi per convertire l'uscita di motore centrale in funzionamento di turboventola utile. Tuttavia, la dimensione, l'efficienza e il rapporto di trasmissione minimo di questi gruppi di ingranaggi sono limitati dalle richieste meccaniche sui singoli ingranaggi. In aggiunta, questi gruppi di ingranaggi possono avere progettazioni complesse con un elevato conteggio di parti. Di conseguenza, vi è la necessità di miglioramenti nella progettazione di gruppo di ingranaggi per conseguire bassi rapporti di trasmissione con minore

dimensione di gruppo, minore complessità e maggiore efficienza.

#### **BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI**

Una divulgazione completa ed esaustiva delle forme di realizzazione preferite indirizzate ad un comune esperto nella tecnica è riportata nella specifica, che fa riferimento alle figure allegate, in cui:

la figura 1 è un'illustrazione schematica in sezione trasversale di una forma di realizzazione esemplificativa di un sistema di propulsione a rotore aperto;

la figura 2 è un'illustrazione schematica in sezione trasversale di una forma di realizzazione esemplificativa di un sistema di propulsione intubato;

la figura 3 è un'illustrazione schematica in sezione trasversale di una forma di realizzazione esemplificativa di un motore a turboventola includente un gruppo di ingranaggi parziale secondo un esempio.

La figura 4 è un'illustrazione schematica in sezione trasversale dettagliata del gruppo di ingranaggi parziale della figura 3.

La figura 5 è un'illustrazione schematica in sezione trasversale di un ingranaggio satellite composto secondo un esempio.

La figura 6 è una vista in prospettiva dell'ingranaggio satellite composto della figura 5.

La figura 7 è una vista in sezione trasversale laterale di un gruppo di ingranaggi parziale secondo un esempio.

La figura 8 è una vista in sezione trasversale radiale di un gruppo di ingranaggi completo secondo l'esempio della figura 7.

#### **DESCRIZIONE DETTAGLIATA**

Si farà ora riferimento in dettaglio a forme di realizzazione della divulgazione, uno o più esempi delle quali sono illustrati nei disegni. Ogni esempio è fornito a titolo di spiegazione della divulgazione, non di limitazione della divulgazione. Infatti, risulterà evidente agli esperti nella tecnica che è possibile apportare varie modifiche e variazioni alle forme di realizzazione preferite senza scostarsi dall'ambito di protezione o dallo spirito della divulgazione. Per esempio, le caratteristiche illustrate o descritte come parte di una forma di realizzazione possono essere utilizzate con un'altra forma di realizzazione per ottenere ancora un'altra forma di realizzazione. Quindi, resta inteso che le forme di realizzazione preferite coprono tali modifiche e variazioni come rientranti nell'ambito di protezione delle rivendicazioni allegate e dei loro equivalenti.

Il termine "esemplificativo" viene utilizzato nella presente per indicare "che serve da esempio, caso o illustrazione". Qualsiasi implementazione descritta nella

presente come "esemplificativa" non deve essere necessariamente interpretata come preferita o vantaggiosa rispetto ad altre implementazioni.

Come utilizzati nella presente, i termini "primo", "secondo" e "terzo" possono essere utilizzati in modo intercambiabile per distinguere un componente da un altro e non intendono implicare l'ubicazione o l'importanza dei singoli componenti.

I termini "anteriore" e "posteriore" si riferiscono alle relative posizioni all'interno di un motore o un veicolo a turbina a gas e si riferiscono al normale assetto operativo del motore o del veicolo a turbina a gas. Per esempio, relativamente ad un motore a turbina a gas, anteriore si riferisce ad una posizione più vicina a un ingresso del motore e posteriore si riferisce ad una posizione più vicina ad un ugello o uno scarico del motore.

Le espressioni "a monte" e "a valle" si riferiscono alla relativa direzione rispetto al flusso del fluido in un percorso di fluido. Per esempio, "a monte" si riferisce alla direzione da cui scorre il fluido e "a valle" si riferisce alla direzione verso cui scorre il fluido.

Le espressioni "accoppiato", "fissato" "attaccato a" e simili si riferiscono sia ad accoppiamento, fissaggio o attacco diretto, sia anche ad accoppiamento, fissaggio o attacco indiretto attraverso uno o più componenti intermedi

o caratteristiche, salvo specificato altrimenti nella presente.

Le forme al singolare "un", "uno" e "il" includono riferimenti plurali salvo il contesto indichi chiaramente altrimenti.

Il linguaggio di approssimazione, come utilizzato nella presente in tutta la specifica e in tutte le rivendicazioni, viene applicato per modificare qualsiasi rappresentazione quantitativa che potrebbe possibilmente variare senza comportare un cambio della funzione basica a cui è correlata. Di conseguenza, un valore modificato da un termine o termini, quali "circa", "approssimativamente" e "sostanzialmente" non deve essere limitato al preciso valore specificato. In almeno alcuni casi, il linguaggio di approssimazione può corrispondere alla precisione di uno strumento per misurare il valore o alla precisione dei metodi o delle macchine per costruire o produrre i componenti e/o i sistemi. Per esempio, il linguaggio di approssimazione può riferirsi all'essere entro un margine dell'1, del 2, del 4, del 10, del 15 o del 20 per cento.

Qui e in tutta la specifica e in tutte le rivendicazioni, le limitazioni di intervallo sono combinate e intercambiate, tali intervalli sono identificati e includono tutti i sotto-intervalli contenuti in essi salvo il contesto o il linguaggio indichi altrimenti. Per esempio,

tutti gli intervalli descritti nella presente includono i punti terminali e i punti terminali sono combinabili indipendentemente tra loro.

Nella presente sono divulgate varie forme di realizzazione di gruppi di ingranaggi, in particolare gruppi di ingranaggi epicicloidali multi-stadio aventi bassi rapporti di trasmissione. I gruppi di ingranaggi divulgati nella presente possono includere un ingranaggio di primo stadio e un ingranaggio di secondo stadio. L'ingranaggio di primo stadio aumenta la velocità di rotazione degli ingranaggi satelliti e degli alberi di rinvio di gruppi di ingranaggi rispetto alla velocità di rotazione dell'albero di ingresso. L'ingranaggio di secondo stadio aziona un ingranaggio a corona ad una velocità di rotazione minore di quella degli ingranaggi satelliti. I gruppi di ingranaggi descritti nella presente offrono diversi vantaggi quando confrontati con i convenzionali gruppi di ingranaggi.

Per esempio, nei motori aventi un'architettura a motore intubato con turbine senza palette controrotanti, è desiderabile un basso rapporto di trasmissione tra l'ingranaggio solare e l'ingranaggio a corona di un gruppo di ingranaggi epicicloidali (ovvero, un rapporto di trasmissione di 3,5 o meno). In una convenzionale scatola ad ingranaggi epicicloidali a singolo stadio, questo è tipicamente conseguito utilizzando un grande ingranaggio

solare e ingranaggi satelliti relativamente piccoli. Tuttavia, quando si utilizzano ingranaggi satelliti più piccoli, è generalmente richiesto l'uso di più ingranaggi satelliti. Questo può comportare sfide con la progettazione di cuscinetti. In particolare, gli ingranaggi satelliti più piccoli lasciano meno spazio radiale per i cuscinetti a rulli che supportano gli ingranaggi satelliti, dato che il profilo radiale di ogni componente degli ingranaggi satelliti può dover essere ridotto con la riduzione della dimensione radiale complessiva degli ingranaggi satelliti. Questo comporta una riduzione esponenziale della capacità portante dei cuscinetti dato che diminuisce la dimensione dei cuscinetti.

Inoltre, la necessità di un numero maggiore di ingranaggi satelliti aumenta il conteggio di parti di un motore. Un elevato conteggio di parti contribuisce ad un maggior costo di produzione e manutenzione di un motore e può aumentare il tempo necessario per la manutenzione e la riparazione di un motore.

In aggiunta, in un convenzionale gruppo di ingranaggi, la dimensione minima degli ingranaggi satelliti può essere limitata dal fattore di condivisione di carico consentito minimo (talvolta denominato "LSF" (Load Sharing Factor)). Idealmente, ingranaggi satelliti di dimensione uguale dovrebbero supportare porzioni uguali della coppia operativa



di un gruppo di ingranaggi epicicloidali, in modo tale che, in un sistema con  $n$  ingranaggi, ogni ingranaggio supporti  $1/n$  della coppia operativa. Tuttavia, per via delle variazioni della tolleranza delle parti e delle deflessioni a cui è sottoposto il motore durante il funzionamento, ogni ingranaggio satellite del gruppo di ingranaggi epicicloidali può finire con il supportare una condivisione variabile della coppia. Di conseguenza, gli ingranaggi satelliti possono dover essere sovradimensionati per resistere ad un carico di coppia maggiore di  $1/n$ , come potrebbe avvenire per via della deflessione dei componenti del motore o delle variazioni della tolleranza delle parti. Quando viene ridotta la dimensione complessiva degli ingranaggi satelliti, ogni ingranaggio può dover essere progettato con una frazione relativamente maggiore di tolleranza meccanica per adattarsi all'LSF. In pratica, questo impone un limite su quanto possono diventare piccoli gli ingranaggi satelliti in un convenzionale gruppo di ingranaggi epicicloidali e può richiedere un gruppo di ingranaggi epicicloidali con un'impronta radiale maggiore.

I gruppi di ingranaggi divulgati nella presente affrontano queste sfide e offrono diversi vantaggi importanti. Dato che i gruppi di ingranaggi divulgati nella presente possono utilizzare un albero di ingresso più piccolo, i gruppi di ingranaggi possono ridurre la dimensione

dell'ingranaggio a corona esterno, consentendo la progettazione di motori con un profilo radiale minore, ingranaggi satelliti più grandi o una loro combinazione. Quando si utilizzano ingranaggi satelliti più grandi, è disponibile più spazio per cuscinetti stabili, grandi in grado di resistere a grandi carichi. In aggiunta, gli ingranaggi satelliti stessi possono essere progettati in modo più robusto con un fattore di condivisione di carico minore per migliorare la durabilità complessiva e la durata utile prevista della scatola ad ingranaggi. Quando i gruppi di ingranaggi sono progettati con un profilo radiale minore (ovvero, un ingranaggio a corona più piccolo), essi possono anche avere un peso considerevolmente minore, migliorando ulteriormente l'efficienza di un velivolo.

Inoltre, l'uso di un numero minore di ingranaggi satelliti comparativamente più grandi determina anche un conteggio di parti ridotto rispetto ad un gruppo di ingranaggi epicicloidali convenzionale. Un conteggio di parti minore può, a sua volta, determinare una diminuzione del costo e della complessità della manutenzione di un motore e una riduzione della quantità di tempo richiesto per la manutenzione o per la revisione di un motore danneggiato o usurato.

La velocità lineare dei denti di ingranaggi, nota come velocità di linea di passo (PLV (Pitch Line Velocity)), degli

ingranaggi satelliti e a corona dei gruppi di ingranaggi divulgati nella presente può anche essere minore di quella presentata in un convenzionale gruppo di ingranaggi. In aggiunta, un'elevata velocità di linea di passo può comportare perdite di energia aumentate, che riducono l'efficienza del motore. Di conseguenza, i gruppi di ingranaggi divulgati nella presente possono presentare requisiti di manutenzione ridotti e migliorare l'efficienza diminuendo la velocità di linea di passo.

Gli esempi di gruppi di ingranaggi divulgati nella presente possono consentire l'uso di ingranaggi a doppia elica che possono essere difficili o impossibili da utilizzare in una convenzionale progettazione di ingranaggi, dato che gli ingranaggi a doppia elica sono bloccati assialmente (ovvero, non in grado di muoversi assialmente l'uno rispetto all'altro) e in un convenzionale gruppo di ingranaggi, possono essere incapaci di permettere espansioni e contrazioni operative dell'albero motore. Gli ingranaggi elicoidali offrono diversi vantaggi rispetto ai convenzionali ingranaggi a denti diritti. I denti angolati impegnano in modo più graduale rispetto a quanto fanno gli ingranaggi a denti diritti, consentendo un funzionamento più uniforme e usura ridotta. In aggiunta, più denti sono in contatto in un qualsiasi dato momento per un ingranaggio elicoidale piuttosto che per un ingranaggio a denti diritti,

consentendo una distribuzione più regolare di forze. In aggiunta, il posizionamento angolato dei denti di un ingranaggio elicoidale garantisce che più area superficiale sia in contatto in un qualsiasi dato momento rispetto a come avverrebbe per un ingranaggio a denti diritti. Di conseguenza, un gruppo di ingranaggi che utilizza ingranaggi elicoidali può resistere a carichi maggiori e durerà più a lungo prima di dover essere riparato o sostituito rispetto a un gruppo di ingranaggi che utilizza ingranaggi a denti diritti.

Quindi, utilizzando le progettazioni di gruppi di ingranaggi descritte nella presente, è più facile conseguire bassi rapporti di trasmissione, quali rapporti di trasmissione al di sotto di 2,3 senza sacrificare le prestazioni e l'affidabilità del motore e senza aggiungere complessità non necessaria alla progettazione del motore.

Facendo riferimento ora ai disegni, la figura 1 è una forma di realizzazione esemplificativa di un motore 100 includente un gruppo di ingranaggi 102 secondo gli aspetti della presente divulgazione. Il motore 100 include un gruppo di ventola 104 azionato da un motore centrale 106. In varie forme di realizzazione, il motore centrale 106 è un sistema a ciclo di Brayton configurato per azionare il gruppo di ventola 104. Il motore centrale 106 è coperto, almeno in parte, da un involucro esterno 114. Il gruppo di ventola 104

include una pluralità di pale di ventola 108.

In alcune forme di realizzazione, un gruppo di palette 110 si estende dall'involucro esterno 114. Il gruppo di palette 110 includente una pluralità di palette 112 è posizionato in una disposizione operativa con le pale di ventola 108 per fornire spinta, per controllare il vettore di spinta, per abbattere o reindirizzare il rumore acustico indesiderato e/o altrimenti per alterare desiderabilmente un flusso di aria rispetto alle pale di ventola 108. In alcune forme di realizzazione, il gruppo di ventola 104 include tra tre (3) e venti (20) pale di ventola 108. In particolari forme di realizzazione, il gruppo di ventola 104 include tra dieci (10) e sedici (16) pale di ventola 108. In alcune forme di realizzazione, il gruppo di ventola 104 include dodici (12) pale di ventola 108. In alcune forme di realizzazione, il gruppo di palette 110 include una quantità uguale o minore di palette 112 rispetto alle pale di ventola 108.

In alcune forme di realizzazione, come quella rappresentata nella figura 1, il gruppo di palette 110 è posizionato a valle del o dietro al gruppo di ventola 104. Tuttavia, si dovrebbe apprezzare che in alcune forme di realizzazione, il gruppo di palette 110 può essere posizionato a monte del o davanti al gruppo di ventola 104. In varie forme di realizzazione ancora, il motore 100 può includere un primo gruppo di palette posizionato davanti al

gruppo di ventola 104 e un secondo gruppo di palette posizionato dietro al gruppo di ventola 104. Il gruppo di ventola 104 può essere configurato per regolare in modo desiderabile il passo in corrispondenza di una o più pale di ventola 108, per esempio per controllare il vettore di spinta, per abbattere o reindirizzare il rumore e/o per alterare l'uscita di spinta. Il gruppo di palette 110 può essere configurato per regolare in modo desiderabile il passo in corrispondenza di una o più palette 112, per esempio per controllare il vettore di spinta, per abbattere o reindirizzare il rumore e/o per alterare l'uscita di spinta. I meccanismi di controllo di passo in corrispondenza di uno o entrambi tra il gruppo di ventola 104 o il gruppo di palette 110 possono cooperare per produrre uno o più effetti desiderati descritti sopra.

Il motore centrale 106 è generalmente racchiuso in un involucro esterno 114 definente un diametro massimo. In alcune forme di realizzazione, il motore 100 include una lunghezza da un'estremità longitudinalmente anteriore 116 ad un'estremità longitudinalmente posteriore 118. In varie forme di realizzazione, il motore 100 definisce un rapporto tra lunghezza (L) e il diametro massimo (Dmax) che permette una ridotta resistenza nello stato montato. In una forma di realizzazione,  $L/D_{max}$  è almeno 2. In un'altra forma di realizzazione,  $L/D_{max}$  è almeno 2,5. In alcune forme di

realizzazione,  $L/D_{max}$  è minore di 5, minore di 4 e minore di 3. In varie forme di realizzazione, si dovrebbe apprezzare che  $L/D_{max}$  è per un motore a rotore singolo non intubato.

La ridotta resistenza nello stato montato può inoltre permettere efficienza migliorata, quale un consumo di carburante specifico migliorato. In aggiunta, o in alternativa, la ridotta resistenza può permettere il funzionamento di un velivolo e un motore ad altitudine di crociera di o superiore a 0,5 Mach. In alcune forme di realizzazione,  $L/D_{max}$ , il gruppo di ventola 104 e/o il gruppo di palette 110 separatamente o insieme configurano, almeno in parte, il motore 100 affinché funzioni ad una velocità operativa ad altitudine di crociera massima tra approssimativamente 0,55 Mach e approssimativamente 0,85 Mach.

Facendo di nuovo riferimento alla figura 1, il motore centrale 106 si estende in una direzione radiale R rispetto a una mezzeria di asse di motore 120. Il gruppo di ingranaggi 102 riceve potenza o coppia dal motore centrale 106 attraverso una sorgente di ingresso di potenza 122 e fornisce potenza o coppia per azionare il gruppo di ventola 104, in una direzione circonferenziale C attorno alla mezzeria di asse di motore 120, attraverso una sorgente di uscita di potenza 124.

In alcune forme di realizzazione, come quella

rappresentata nella figura 1, il motore 100 è un sistema di produzione di spinta non intubato, in modo tale che la pluralità di pale di ventola 108 sia non coperta da una gondola o un involucro di ventola. In quanto tale, in varie forme di realizzazione, il motore 100 può essere configurato come un motore a turboventola non carenato, un motore a rotore aperto o un motore a turboelica. In particolari forme di realizzazione, il motore 100 è un motore a rotore singolo non intubato includente una singola fila di pale di ventola 108. Il motore 100 configurato come un motore a rotore aperto include il gruppo di ventola 104 avente pale di ventola di grande diametro 108, come può essere adatto per elevati rapporti di bypass, elevate velocità di crociera (per esempio, comparabili ad un velivolo con motori a turboventola o velocità di crociera generalmente maggiore rispetto ad un velivolo con motori a turboelica), elevata altitudine di crociera (per esempio, comparabile ad un velivolo con motori a turboventola o velocità di crociera generalmente maggiore rispetto ad un velivolo con motori a turboelica) e/o velocità di rotazione relativamente basse. L'altitudine di crociera è generalmente un'altitudine a cui un velivolo si allinea dopo l'ascesa e prima di discendere ad una fase di volo di approccio. In varie forme di realizzazione, il motore è applicato ad un veicolo con una altitudine di crociera fino ad approssimativamente 65.000 piedi. In alcune forme di



realizzazione, l'altitudine di crociera è tra approssimativamente 28.000 piedi e approssimativamente 45.000 piedi.

Sebbene rappresentato sopra come un motore non carenato o a rotore aperto nella figura 1, occorre apprezzare che i gruppi di ingranaggi descritti nella presente possono essere applicati a motori carenati o intubati, motori parzialmente intubati, motori a ventola posteriore, motori a turboventola contro rotante senza palette (VCRT, Vaneless Contra-Rotating Turban) o altre configurazioni di turbomacchina, incluse quelle per sistemi nautici, industriali o di aeropropulsione. In aggiunta, i gruppi di ingranaggi divulgati nella presente possono anche essere applicabili a motori a turboventola, turboelica o turboalbero.

Per esempio, la figura 2 è un'illustrazione schematica in sezione trasversale di una forma di realizzazione esemplificativa di un motore 200 che include un gruppo di ingranaggi 202 in combinazione con un sistema di propulsione a ventola intubato. Tuttavia, diversamente dalla configurazione a rotore aperto della figura 1, un gruppo di ventola 204 e le sue pale di ventola 208 sono contenuti all'interno di una scatola di ventola anulare 230 e un gruppo di palette 210 e una o più palette 212 si estendono radialmente tra una cappottatura di ventola 232 e la superficie interna della scatola di ventola 230. Come

discusso sopra, i gruppi di ingranaggi divulgati nella presente possono permettere rapporti di trasmissione aumentati per un assieme di ingranaggi fisso (per esempio, con l'ingranaggio a corona della stessa dimensione) o in alternativa è possibile utilizzare un ingranaggio a corona di diametro minore per conseguire gli stessi rapporti di trasmissione.

Come mostrato nella figura 2, un motore centrale 206 è generalmente racchiuso in un involucro esterno 214 e ha una lunghezza che si estende da un'estremità longitudinalmente anteriore 216 ad un'estremità longitudinalmente posteriore 218. Il motore centrale esemplificativo (per un motore intubato o non intubato) può includere una sezione di compressore 240, un sistema di addizione di calore 242 (per esempio, un combustore) e una sezione di espansione 244 insieme in una disposizione a flusso seriale. Il motore centrale 206 si estende circonferenzialmente rispetto ad un asse di mezzzeria di motore 220. Il motore centrale 206 include uno spool ad alta velocità che include un compressore ad alta velocità e una turbina ad alta velocità accoppiati operativamente in modo girevole insieme mediante un albero ad alta velocità 246 che è anch'esso collegato operativamente al gruppo di ingranaggi 202 per fornire potenza al gruppo di ventola 204 tramite una sorgente di ingresso di potenza 222, come descritto ulteriormente nella presente.

Si dovrebbe apprezzare che i termini "basso" e "alto" o i loro rispettivi gradi comparativi (per esempio, più basso, più alto, dove applicabili), quando utilizzati con i componenti di compressore, turbina, albero o spool, si riferiscono ciascuno alle relative velocità all'interno di un motore salvo specificato altrimenti. Per esempio, una "turbina bassa" o "turbina a bassa velocità" definisce un componente configurato per funzionare ad una velocità di rotazione, quale una velocità di rotazione consentita massima, minore rispetto a quella di una "turbina alta" o "turbina ad alta velocità" in corrispondenza del motore. In alternativa, salvo specificato altrimenti, i termini summenzionati possono essere compresi nel loro grado superlativo. Per esempio, una "turbina bassa" o "turbina a bassa velocità" può riferirsi alla turbina con velocità di rotazione massima più bassa all'interno di una sezione di turbina, un "compressore basso" o "compressore a bassa velocità" può riferirsi alla turbina con velocità di rotazione massima più bassa all'interno di una sezione di compressore, una "turbina alta" o "turbina ad alta velocità" può riferirsi alla turbina con velocità di rotazione massima più alta all'interno della sezione di turbina e un "compressore alto" o "compressore ad alta velocità" può riferirsi al compressore con velocità di rotazione massima più alta all'interno della sezione di compressore.

Analogamente, lo spool a bassa velocità si riferisce ad una velocità di rotazione massima più bassa rispetto a quella dello spool ad alta velocità. Si dovrebbe inoltre apprezzare che i termini "basso" o "alto" in tali aspetti summenzionati possono in aggiunta, o in alternativa, essere compresi come relativi a velocità consentite minime o velocità consentite minime o massime rispetto al funzionamento in stato stabile, desiderato, normale, eccetera del motore.

Come discusso in maggiore dettaglio di seguito, il motore centrale include il gruppo di ingranaggi che è configurato per trasferire potenza dalla sezione di espansione e per ridurre una velocità di rotazione di uscita in corrispondenza del gruppo di ventola rispetto ad una turbina a bassa velocità. Forme di realizzazione dei gruppi di ingranaggi rappresentate e descritte nella presente possono consentire rapporti di trasmissione adatti per ventole non intubate di grande diametro (per esempio, figura 1) o alcune turboventole (per esempio, figura 2). In aggiunta, forme di realizzazione dei gruppi di ingranaggi fornite nella presente possono essere adatte entro i vincoli radiali o diametrali del motore centrale all'interno dell'involucro esterno.

La figura 3 mostra un motore 300 esemplificativo con un gruppo di ingranaggi 302 secondo gli esempi divulgati nella presente. Il motore 300 comprende anche un albero di ingresso

304, un albero di uscita 306 e un alloggiamento di motore fisso 308. Il gruppo di ingranaggi 302 è configurato per ricevere l'albero di ingresso 304 e per azionare l'albero di uscita 306. Il gruppo di ingranaggi 302 può in aggiunta essere attaccato all'alloggiamento di motore fisso per trattenere uno o più componenti del gruppo di ingranaggi 302 stazionari rispetto all'alloggiamento del motore fisso.

L'albero di ingresso 304 può estendersi da un motore centrale del motore 300 al gruppo di ingranaggi 302, per alimentare potenza rotazionale al gruppo di ingranaggi. Il gruppo di ingranaggi 302 può azionare l'albero di uscita 306, che a sua volta può azionare un gruppo di ventola. Il gruppo di ingranaggi 302 può includere un insieme di ingranaggi per diminuire la velocità di rotazione del gruppo di ventola rispetto alla turbina a bassa velocità (pressione). Durante il funzionamento, le pale di ventola rotanti del gruppo di ventola sono azionate dalla turbina a bassa velocità (pressione) tramite il gruppo di ingranaggi in modo tale che le pale di ventola ruotino attorno alla mezzzeria di asse di motore e generino spinta per la propulsione del motore e quindi di un velivolo su cui è montato, nella direzione in avanti.

I seguenti sono gruppi di ingranaggi multi-stadio composti esemplificativi che possono fornire rapporti di trasmissione più bassi in meno stadi di ingranaggi e che

possono fare questo in un'impronta radiale più piccola, quando confrontati con convenzionali gruppi di ingranaggio a singolo stadio. I gruppi di ingranaggi multi-stadio composti divulgati nella presente possono tipicamente includere un ingranaggio di primo stadio e un ingranaggio di secondo stadio.

Le figure 3 e 4 mostrano un gruppo di ingranaggi multi-stadio composto esemplificativo 302 secondo la presente divulgazione. Il gruppo di ingranaggi 302 può comprendere un ingranaggio solare 310, una pluralità di ingranaggi satelliti composti 312 (talvolta chiamati alberi di rinvio) e un ingranaggio a corona 314. Gli ingranaggi satelliti composti 312 possono essere disposti radialmente all'esterno del e impegnati con l'ingranaggio solare 310. L'ingranaggio a corona 314 può essere disposto radialmente all'esterno degli e impegnato con gli ingranaggi satelliti composti 312.

L'ingranaggio solare 310 può essere collegato al e/o azionato dall'albero di ingresso 304. L'ingranaggio solare 310 può, in alcuni esempi, essere formato in modo solidale con l'albero di ingresso 304. In altri esempi, l'ingranaggio solare 310 può essere formato separatamente dall'albero di ingresso 304 e attaccato in modo fisso ad esso. L'ingranaggio solare 310, come mostrato nella figura 8, può avere un diametro di passo di ingranaggio solare,  $PDSun$ . Il diametro di passo di ingranaggio solare,  $PDSun$  è definito come il

cerchio descritto da una linea immaginaria tracciata attraverso il punto centrale di ogni dente di ingranaggio sull'ingranaggio solare 310.

Gli ingranaggi satelliti 312 possono comprendere un ingranaggio di primo stadio 316 e un ingranaggio di secondo stadio 318. L'ingranaggio di primo stadio 316 (talvolta indicato come ingranaggio moltiplicatore) di ogni ingranaggio satellite 312 può essere configurato per l'impegno con l'ingranaggio solare 310. L'ingranaggio di secondo stadio 318 di ogni ingranaggio satellite 312 (talvolta indicato come ingranaggio riduttore) può essere configurato per impegnare l'ingranaggio a corona 314. L'ingranaggio di primo stadio 316 e l'ingranaggio di secondo stadio 318 di ogni ingranaggio satellite composto possono essere uniti in modo tale che gli ingranaggi di primo e secondo stadio 316, 318 abbiano una velocità di rotazione identica. In alcuni esempi, l'ingranaggio di primo stadio 316 e l'ingranaggio di secondo stadio 318 degli ingranaggi satelliti 312 possono essere formati in modo solidale. In altri esempi, tuttavia, l'ingranaggio di primo stadio 316 e l'ingranaggio di secondo stadio 318 degli ingranaggi satelliti 312 possono essere formati separatamente e quindi fissati l'uno all'altro. Come illustrato nelle figure 5 e 8, l'ingranaggio di primo stadio 316 dell'ingranaggio satellite 312 può avere un diametro di passo di primo stadio,  $PD_1$ . Il

diametro di passo di primo stadio  $PD_1$  è definito come il cerchio descritto da una linea immaginaria tracciata attraverso il punto centrale di ogni dente di ingranaggio sull'ingranaggio di primo stadio 316 dell'ingranaggio satellite composto 312. Continuando a fare riferimento alle figure 5 e 8, l'ingranaggio di secondo stadio 318 dell'ingranaggio satellite 312 ha un diametro di passo di secondo stadio,  $PD_2$ . Il diametro di passo di secondo stadio  $PD_2$  è definito come il cerchio descritto da una linea immaginaria tracciata attraverso il punto centrale di ogni dente di ingranaggio sull'ingranaggio di secondo stadio 318 dell'ingranaggio satellite composto 312.

In alcuni esempi, come quelli illustrati nelle figure 5 e 6, l'ingranaggio di secondo stadio 318 di ogni ingranaggio satellite composto 312 può includere un primo ingranaggio di secondo stadio 318a e un ingranaggio di secondo stadio 318b. Il primo ingranaggio di secondo stadio 318a e l'ingranaggio di secondo stadio 318b possono essere disposti su entrambi i lati del primo stadio dell'ingranaggio satellite 312, come mostrato meglio nelle figure 5 e 6. In tali esempi, il primo ingranaggio di secondo stadio 318a e l'ingranaggio di secondo stadio 318b possono formare estremità assiali opposte degli ingranaggi satelliti composti 312.

In alcuni esempi, come quello illustrato nelle figure



5 e 6, l'ingranaggio di primo stadio 316 di ogni ingranaggio satellite composto 312 può includere un ingranaggio di primo stadio 316a e un secondo ingranaggio di primo stadio 316b. Il primo e il secondo ingranaggio di primo stadio 316a, 316b possono essere disposti verso l'interno rispetto al primo e al secondo ingranaggio di primo stadio 318a, 318b degli ingranaggi satelliti composti di secondo stadio, in modo tale che il primo e il secondo ingranaggio di primo stadio 316a, 316b siano disposti verso il centro assiale dell'ingranaggio satellite composto 312 e gli ingranaggi di primo e secondo stadio 318a, 318b siano disposti verso le estremità assiali dell'ingranaggio satellite composto 312. Occorre comprendere, tuttavia, che in altri esempi, sono possibili altre configurazioni. Per esempio, l'ingranaggio di primo stadio 316 e l'ingranaggio di secondo stadio 318 di ogni ingranaggio satellite composto 312 potrebbero comporre un ingranaggio di primo stadio e un primo ingranaggio di secondo stadio rispettivamente. In una tale configurazione, l'ingranaggio di primo stadio può essere davanti rispetto all'ingranaggio di secondo stadio o dietro rispetto all'ingranaggio di secondo stadio. In alternativa, l'ingranaggio di primo stadio 316 degli ingranaggi satelliti composti potrebbe comprendere un singolo ingranaggio di primo stadio e l'ingranaggio di secondo stadio 318 potrebbe comprendere due o più ingranaggi di secondo stadio disposti

verso le estremità assiali dell'ingranaggio satellite composto 312 e l'ingranaggio di primo stadio 316 disposto verso il centro assiale dell'ingranaggio satellite composto 312.

Il gruppo di ingranaggi composti 302 può includere inoltre l'ingranaggio a corona 314. L'ingranaggio a corona 314 può essere configurato per l'impegno con l'ingranaggio di secondo stadio 318 dell'ingranaggio satellite composto 312. L'ingranaggio a corona 314 può anche essere attaccato a un'uscita di gruppo di ingranaggi, quale un albero di ventola 324. Come illustrato nelle figure 3 e 4, l'ingranaggio a corona può essere staccato dall'alloggiamento di motore fisso 308 del motore 300. L'ingranaggio a corona 314 ha un diametro interno che definisce lo spazio interno del gruppo di ingranaggi 302 in cui si inseriranno gli altri componenti di ingranaggi (per esempio, l'albero di ingresso 304, l'ingranaggio solare 310, gli ingranaggi satelliti composti 312 e i loro rispettivi sottocomponenti). L'ingranaggio a corona 314 ha un diametro di passo di ingranaggio a corona,  $PD_r$ . Il diametro di passo di ingranaggio a corona,  $PD_r$ , è il cerchio definito da una linea immaginaria tracciata attraverso il punto centrale di ogni dente di ingranaggio sull'ingranaggio a corona 314.

Ritornando alla figura 4, gli ingranaggi satelliti composti 312 possono, in alcuni esempi, avere un perno di

albero di rinvio 320 che si estende assialmente attraverso gli stessi. Il perno di albero di rinvio 320 può, in alcuni esempi, essere attaccato ad un portatreno epicicloidale 322. Il portatreno epicicloidale 322 può, a sua volta, essere attaccato all'alloggiamento di motore fisso 308. Questo attacco del portatreno epicicloidale 322 all'alloggiamento di motore fisso 308 può trattenere gli ingranaggi satelliti composti 312 in posizione rispetto all'alloggiamento di motore fisso 308. In una tale configurazione, la rotazione degli ingranaggi satelliti composti 312 all'interno del portatreno epicicloidale stazionario 322 determina il movimento rotazionale dell'ingranaggio a corona 314. A sua volta, l'ingranaggio a corona 314 può essere attaccato a e configurato per azionare un elemento di uscita, quale l'albero di ventola 324. Questa configurazione di gruppo di ingranaggi, con il portatreno epicicloidale 322 stazionario e l'ingranaggio a corona 314 in rotazione è nota talvolta come disposizione a stella o configurazione a stella. In altri esempi, il portatreno epicicloidale 322 può essere staccato dall'alloggiamento di motore fisso 308 e l'ingranaggio a corona 314 può essere attaccato all'alloggiamento di motore fisso 308, immobilizzando l'ingranaggio a corona 314 rispetto all'alloggiamento di motore fisso 308. Questa configurazione di gruppo di ingranaggi con l'ingranaggio a corona 314 stazionario e il

portatreno epicicloidale 322 e gli ingranaggi satelliti 312 in rotazione è talvolta nota come disposizione epicicloidale o configurazione epicicloidale.

Passando ora alla figura 7, ogni ingranaggio satellite composto 312 può includere una o più piste di cuscinetto 326. Le piste di cuscinetto 326 possono essere disposte lungo il diametro esterno del perno di albero di rinvio 320 e tra il perno di albero di rinvio 320 e l'ingranaggio di secondo stadio 318 dell'ingranaggio satellite composto 312. In alcuni esempi, come quelli mostrati nelle figure 7 e 8, l'ingranaggio satellite composto 312 può includere inoltre una pluralità di cuscinetti 328. Come illustrato nella figura 8, la pluralità di cuscinetti 328 può essere disposta all'interno delle piste di cuscinetto 326 e contemporaneamente in contatto sia con la pista di cuscinetto 326 sia con una superficie interna dell'ingranaggio di secondo stadio 318 dell'ingranaggio satellite composto 312.

Come illustrato meglio nella figura 8, la pluralità di cuscinetti 328 all'interno di qualsiasi pista di cuscinetto 326 può formare un anello di cuscinetti 328 tra la pista di cuscinetto 326 e gli ingranaggi di secondo stadio (ovvero, riduttori) 318 dell'ingranaggio satellite composto 312. Questo anello di cuscinetti 328 può supportare gli ingranaggi di secondo stadio (ovvero, riduttori) 318 dei gruppi di ingranaggi composti contro forze di compressione, può

garantire movimento rotazionale stabile dei gruppi di ingranaggi composti rispetto ai perni di albero di rinvio 320 e all'ingranaggio a corona 314 e può bilanciare il carico dell'ingranaggio satellite composto 312 durante il funzionamento del motore.

In alcuni esempi, come quelli illustrati nelle figure 4 e 7, l'ingranaggio solare 310 può impegnare l'ingranaggio di primo stadio 316 di ciascuno della pluralità di ingranaggi satelliti composti 312. Nell'esempio illustrato nella figura 8, il diametro di passo ( $PDSun$ ) dell'ingranaggio solare 310 può essere maggiore del diametro di passo ( $PD_1$ ) dell'ingranaggio di primo stadio 316 dell'ingranaggio satellite composto 312. In questo modo, il rapporto di trasmissione tra l'ingranaggio solare 310 e l'ingranaggio di primo stadio 316 dell'ingranaggio satellite composto 312 può essere minore di 1. Di conseguenza, la velocità di rotazione degli ingranaggi satelliti 312 può essere maggiore della velocità di rotazione dell'ingranaggio solare 310 e dell'albero di ingresso 304.

L'ingranaggio di secondo stadio 318 dell'ingranaggio satellite 312 può, in alcuni esempi, ruotare alla stessa velocità di rotazione dell'ingranaggio di primo stadio 316 dell'ingranaggio satellite 312. L'ingranaggio di secondo stadio 318 dell'ingranaggio satellite 312 può impegnarsi con l'ingranaggio a corona 314. Nell'esempio illustrato nella

figura 5, il diametro di passo ( $PD_2$ ) dell'ingranaggio di secondo stadio 318 dell'ingranaggio satellite composto 312 può essere maggiore del diametro di passo ( $PD_1$ ) dell'ingranaggio di primo stadio 316 dell'ingranaggio satellite composto 312 e minore del diametro di passo ( $PD_r$ ) dell'ingranaggio a corona 314. Di conseguenza, la velocità di rotazione dell'ingranaggio a corona 314 può essere minore della velocità di rotazione degli ingranaggi satelliti 312.

Ritornando alla figura 3, l'ingranaggio a corona 314 può essere accoppiato all'albero di ventola 324 per azionare le ventole di un motore, quale il motore 300. L'ingranaggio solare 310 può essere accoppiato a una sorgente di potenza di ingresso (per esempio, l'albero di ingresso 304). In alcune forme di realizzazione, l'albero di ingresso 304 può essere formato in modo solidale con l'ingranaggio solare 310. L'ingranaggio di secondo stadio 318 degli ingranaggi satelliti 312 può essere supportato da due file di cuscinetti a rulli cilindrici 328 in corrispondenza del foro epicicloidale. In aggiunta, l'albero di azionamento di ventola 324 può essere supportato da cuscinetti a rulli rastremati o angolari, che supportano o sostengono l'albero di azionamento di ventola 324 in una modalità assialmente compatta. In alcune forme di realizzazione, i cuscinetti a rulli rastremati o angolari possono essere formati con un materiale ceramico. In alcune forme di realizzazione, i

cuscinetti a rulli rastremati o angolari possono essere lubrificati mediante lubrificazione sotto-pista, in cui la lubrificazione è indirizzata sotto la pista interna e forzata ad uscire attraverso una pluralità di fori in una pista interna. In alcune forme di realizzazione, come mostrato nella figura 3, un elemento di sostegno interno di entrambi gli insiemi dei cuscinetti a rulli 328 può essere un elemento pieno.

In alcune forme di realizzazione aventi più di un ingranaggio di primo stadio 316 e/o più di un ingranaggio di secondo stadio 318, uno tra gli ingranaggi di primo stadio e/o gli ingranaggi di secondo stadio (per esempio, uno tra il primo e il secondo insieme di ingranaggi, uno tra il terzo o il quarto insieme di ingranaggi) possono essere temporizzati angolarmente di una quantità impostata di passo di ingranaggio rispetto all'altro insieme di ingranaggi. Per esempio, i denti del primo insieme di ingranaggi possono essere temporizzati angolarmente di una prima quantità del passo di ingranaggio rispetto ai denti del secondo insieme di ingranaggi. La prima quantità può essere tra un quarto e una metà. Analogamente, i denti del terzo insieme di ingranaggi possono essere temporizzati angolarmente di una seconda quantità del passo di ingranaggio rispetto ai denti del quarto insieme di ingranaggi. La seconda quantità può essere tra un quarto e una metà.

Come discusso in precedenza, la forma di realizzazione mostrata nella figura 3 rappresenta il gruppo di ingranaggi 302 nella configurazione a stella in cui il portatreno epicicloidale 322 è generalmente fissato (per esempio, statico) all'interno del motore mediante una struttura di sostegno. L'ingranaggio solare 310 è azionato da un albero di ingresso 304 (per esempio, un albero a bassa velocità). Il portatreno epicicloidale 322 è accoppiato in modo girevole agli ingranaggi di primo stadio (ovvero, moltiplicatori) 316 della pluralità di ingranaggi satelliti composti 312 e l'ingranaggio a corona 314 è configurato per accoppiarsi in modo girevole con gli ingranaggi di secondo stadio (ovvero, riduttori) 318 della pluralità di ingranaggi satelliti composti 312 e per ruotare attorno alla mezzeria di asse di motore longitudinale 220 in una direzione circonferenziale, che a sua volta aziona la sorgente di uscita di potenza (per esempio, un albero di ventola) che è accoppiata a e configurata per ruotare con l'ingranaggio a corona 314 per azionare il gruppo di ventola 104, 204. In questa forma di realizzazione, l'albero a bassa velocità ruota in una direzione circonferenziale che è opposta alla direzione in cui ruota l'albero di ventola.

In altre forme di realizzazione, il gruppo di ingranaggi 302 può avere una configurazione epicicloidale in cui l'ingranaggio a corona 314 è fissato (per esempio, statico)



all'interno del motore 200 mediante una struttura di sostegno. L'ingranaggio solare 310 è azionato da una sorgente di ingresso (per esempio, l'albero di ingresso 304) e al posto dell'ingranaggio a corona 314 in rotazione, il portatreno epicicloidale 322 ruota nella direzione uguale alla direzione di rotazione di albero a bassa velocità, per azionare la sorgente di uscita (per esempio, l'albero di ventola 324) e il gruppo di ventola 104, 204.

In alcuni esempi, i gruppi di ingranaggi 302 divulgati nella presente possono includere ingranaggi satelliti composti 312, ingranaggi solari 310 e ingranaggi a corona 314 con una progettazione di ingranaggio elicoidale. La figura 6, per esempio, rappresenta l'ingranaggio satellite composto 312 avente un primo e un secondo ingranaggio di primo stadio 316a, 316b e un ingranaggio di primo e di secondo stadio 318a, 318b, aventi una progettazione elicoidale. Nei convenzionali gruppi di ingranaggi aventi un ingranaggio satellite a singolo stadio, i denti dell'ingranaggio satellite devono essere in grado di ingranare sia con i denti dell'ingranaggio solare sia con i denti dell'ingranaggio a corona. Nei gruppi di ingranaggi divulgati nella presente, ogni stadio dell'ingranaggio satellite si impegna con un altro ingranaggio ed è pertanto possibile utilizzare una progettazione di ingranaggio elicoidale. In tali esempi, gli ingranamenti a doppia elica

degli ingranaggi satelliti bilanciano assialmente il carico sui quattro insiemi di ingranaggi (a fasi) di ogni ingranaggio satellite composto.

Nei gruppi di ingranaggi divulgati, il rapporto di trasmissione tra l'ingranaggio solare 310 e l'ingranaggio di primo stadio 316 dell'ingranaggio satellite 312 può essere espresso come  $GR_1$ .  $GR_1$  è determinato dal rapporto tra il diametro di passo dell'ingranaggio di primo stadio 316 dell'ingranaggio satellite 312 ( $PD_1$ ) e il diametro di passo dell'ingranaggio solare 310 (ovvero,  $PD_1/PDSun$ ) e alcuni esempi  $GR_1$  può essere minore di 1. Il rapporto di trasmissione tra l'ingranaggio di secondo stadio 318 dell'ingranaggio satellite 312 e l'ingranaggio a corona 314 può essere espresso come  $GR_2$ .  $GR_2$  è determinato dal rapporto tra il diametro di passo dell'ingranaggio a corona 314 e il diametro di passo dell'ingranaggio di secondo stadio 318 dell'ingranaggio satellite 312 (ovvero,  $PDRing/PD_2$ ) e in alcuni gruppi di ingranaggi esemplificativi,  $GR_2$  può essere maggiore di  $GR_1$  e maggiore di 1. Il rapporto di trasmissione totale,  $GR_{Totale}$ , dei gruppi di ingranaggi divulgati nella presente, può essere determinato da  $GR_1$  e  $GR_2$  secondo la formula  $GR_{Totale} = GR_1 \times GR_2$ . In alcuni esempi divulgati nella presente,  $GR_{Totale}$  può essere minore di o uguale a 3,5, per esempio 3,5, 3,3, 3,1, 2,9, 2,7, 2,5, 2,3, 2,1 o 1,9 o qualsiasi rapporto di trasmissione intermedio. In altri

esempi,  $GR_{Totale}$  può essere minore di 3,5, minore di 3,3, minore di 3,1, minore di 2,9, minore di 2,7, minore di 2,5, minore di 2,3, minore di 2,1 o minore di 1,9. Dato che  $GR_1$ , in alcuni esempi, è minore di 1,  $GR_2$  può di conseguenza essere maggiore di  $GR_{Totale}$  in tali esempi.

Dato che la configurazione di gruppo di ingranaggi composti degli esempi descritti nella presente consente che  $GR_2$  sia maggiore di  $GR_{Totale}$ , l'ingranaggio di secondo stadio 318 degli ingranaggi satelliti composti 312 utilizzato nel gruppo di ingranaggi 302 può essere più grande dei corrispondenti ingranaggi satelliti a singolo stadio di un convenzionale gruppo di ingranaggi per un  $GR_{Totale}$  equivalente. Questo a sua volta consente ai gruppi di ingranaggi divulgati nella presente di conseguire bassi rapporti di trasmissione con ingranaggi satelliti più grandi o consente che minori rapporti di trasmissione siano conseguiti con ingranaggi satelliti della stessa dimensione, quando confrontati con i convenzionali gruppi di ingranaggi con ingranaggi satelliti a singolo stadio.

Per gli esempi di gruppo di ingranaggi divulgati nella presente, il movimento rotazionale dell'ingranaggio solare 310, degli ingranaggi satelliti 312 e dell'ingranaggio a corona 314, insieme ai diametri di passo di tali ingranaggi, può essere utilizzato per determinare la velocità lineare o la velocità di linea di passo degli ingranaggi rotanti. Per

un ingranaggio con un diametro di passi di PD in metri, e una velocità di rotazione di RV in RPM, la velocità di linea di passo in metri al secondo (m/s) può essere calcolata come:

$$(PD * \pi * RV) / 60.$$

La velocità di linea di passo degli ingranaggi operativi governa la velocità di impegno a cui sono sottoposti i denti degli ingranaggi che si impegnano rotazionalmente, il che a sua volta influenza il tasso di usura dei denti degli ingranaggi che si impegnano. Inoltre, un'elevata velocità di linea di passo con un impegno più rapido dei denti di ingranaggio può ridurre l'efficienza operativa del motore, dato che un gruppo di ingranaggi con una maggiore velocità di linea di passo può generare calore aggiuntivo. Questo può richiedere l'uso di lubrificante e/o liquido di raffreddamento aggiuntivo e l'interazione idraulica tra gli ingranaggi e il lubrificante e/o il liquido di raffreddamento può contrastare la rotazione del gruppo di ingranaggi e causare perdite meccaniche. Di conseguenza, può essere desiderabile in alcuni gruppi di ingranaggi esemplificativi ridurre la velocità di linea di passo, in particolare degli ingranaggi di primo stadio degli ingranaggi satelliti composti dei gruppi di ingranaggi. In alcuni gruppi di ingranaggi esemplificativi, questo può essere conseguito riducendo la velocità di rotazione degli ingranaggi. Dato che la velocità di rotazione degli ingranaggi satelliti

(talvolta denominata velocità di albero di rinvio o LS) può essere determinata in funzione della velocità di rotazione dell'albero di ingresso e dell'ingranaggio solare nonché del rapporto tra il diametro di passo dell'ingranaggio solare (PDSun) e il diametro di passo del primo stadio dell'ingranaggio satellite (PD<sub>1</sub>) secondo la formula:  $LS = (\text{velocità di ingresso di ingranaggio solare} * (PDSun/PD_1))$  e dato che l'uso degli ingranaggi satelliti composti consente un ingranaggio solare corrispondentemente più piccolo per qualsiasi rapporto di trasmissione desiderato, i gruppi di ingranaggi divulgati nella presente possono presentare velocità di linea di passo minori per gli ingranaggi satelliti rispetto ad un convenzionale gruppo di ingranaggi.

Inoltre, dato che la progettazione a due stadi degli ingranaggi satelliti 312, in cui gli ingranaggi di secondo stadio 318 degli ingranaggi satelliti 312 sono più grandi degli ingranaggi di primo stadio 316 degli ingranaggi satelliti 312, consente di conseguire rapporti di trasmissione simili utilizzando un ingranaggio solare 310 e l'albero di ingresso 304 che sono più piccoli rispetto all'ingranaggio a corona 314 rispetto a come sarebbe necessario in una convenzionale progettazione di gruppo di ingranaggi, è disponibile spazio aggiuntivo nell'assieme radiale definito dall'ingranaggio a corona 314 del gruppo di ingranaggi 302. Questo consente di utilizzare ingranaggi

satelliti 312 più grandi e in numero relativamente minore rispetto a quanto sarebbe possibile in una convenzionale progettazione. Quindi, i gruppi di ingranaggi secondo gli esempi divulgati nella presente possono essere progettati con un conteggio di parti totale minore e corrispondentemente minori esigenze di manutenzione.

L'uso di ingranaggi satelliti più grandi lascia spazio aggiuntivo per una progettazione di cuscinetti e perni di albero di rinvio robusta. Nelle convenzionali progettazioni di gruppi di ingranaggi, le richieste meccaniche sui cuscinetti che sostengono gli ingranaggi satelliti forniscono una dimensione minima pratica al di sotto della quale gli ingranaggi satelliti non possono essere ridotti. Dato che l'aumento della dimensione dell'ingranaggio solare e la diminuzione della dimensione degli ingranaggi satelliti è un modo tipico in cui un convenzionale gruppo di ingranaggi consegue un basso rapporto di trasmissione, queste limitazioni meccaniche limitano effettivamente il rapporto di trasmissione minimo che è possibile in un convenzionale gruppo di ingranaggi. I gruppi di ingranaggi 302 descritti nella presente aventi un ingranaggio satellite composto 312 con gli ingranaggi di primo stadio 316 e gli ingranaggi di secondo stadio 318 possono utilizzare entrambi ingranaggi solari 310 più piccoli e ingranaggi satelliti 312 più grandi, per le ragioni discusse in precedenza e possono trarre

beneficio dall'inclusione di uno stadio di riduzione, consentendo ai gruppi di ingranaggi descritti nella presente di conseguire rapporti di trasmissione comparativamente minori di quelli che potrebbero essere conseguiti nei convenzionali gruppi di ingranaggi di dimensioni simili.

Inoltre, dato che il gruppo di ingranaggi simmetrici composti 302 può utilizzare una pluralità di ingranaggi satelliti composti 312 e dato che l'ingranaggio di primo stadio 316 e l'ingranaggio di secondo stadio 318 degli ingranaggi satelliti 312 si impegnano con un ingranaggio (l'ingranaggio solare 310 e l'ingranaggio a corona 314 rispettivamente), vi potrebbe non essere alcuna flessione inversa degli ingranaggi satelliti 312 nel gruppo di ingranaggi 302. Diversamente, in un convenzionale gruppo di ingranaggi, i denti degli ingranaggi satelliti sono sottoposti a flessione inversa (ovvero, i denti degli ingranaggi satelliti sono posti sotto carico in una direzione per via dell'impegno con l'ingranaggio solare e posti sotto carico nella direzione opposta per via dell'impegno con i denti dell'ingranaggio a corona). Dato che gli ingranaggi satelliti 312 dei gruppi di ingranaggi divulgati, quale il gruppo di ingranaggi 302, non devono necessariamente essere progettati per resistere alla sollecitazione da flessione causata dall'essere posti sotto carico alternatamente in entrambe le direzioni, possono essere progettati gruppi di

ingranaggi comparativamente più piccoli rispetto a quelli che potrebbero essere progettati utilizzando una convenzionale configurazione di scatola ad ingranaggi e gruppi di ingranaggi con un'impronta radiale complessiva più piccola potrebbero essere progettati per lo stesso rapporto di trasmissione totale obiettivo.

Come discusso in precedenza, gli esempi di gruppi di ingranaggi composti divulgati nella presente consentono l'uso di ingranaggi elicoidali. Gli ingranaggi elicoidali conseguono diversi vantaggi di progettazione, inclusi usura delle parti ridotta, impegno più uniforme dei denti di ingranaggi e perdite di energia corrispondentemente minori durante il funzionamento del motore e maggiore capacità di carico.

In alcune applicazioni specifiche, è desiderabile che  $GR_{Totale}$  sia 2,3 o meno. In una convenzionale scatola ad ingranaggi satelliti, rapporti di trasmissione di 2,3 o meno sono solitamente conseguibili soltanto quando si utilizza un elevato numero di ingranaggi satelliti (per esempio, 8 o più ingranaggi satelliti). Nelle scatole ad ingranaggi composti divulgate nella presente, valori di  $GR_{Totale}$  al di sotto di 2,3 possono essere conseguiti utilizzando 8 o meno ingranaggi satelliti, quali 4, 5, 6, 7 o 8 ingranaggi satelliti. Configurazioni di gruppi di ingranaggi specifiche adatte per conseguire un  $GR_{Totale}$  di 2,3 o meno saranno discusse in



ulteriore dettaglio di seguito.

In un esempio illustrativo, un gruppo di ingranaggi può essere progettato per ridurre una velocità di rotazione di ingresso di 7000 RPM ad una velocità di rotazione di uscita di 3523 RPM. Per conseguire questa riduzione, il rapporto di trasmissione totale ( $GR_{Totale}$ ) del gruppo di ingranaggi esemplificativo dovrebbe essere 1,987. Una gamma di possibili configurazioni di gruppi di ingranaggi secondo la presente divulgazione è presentata nelle tabelle 1 e 2, di seguito.

TABELLA 1. Parametri di gruppo di ingranaggi composti

Progettazione di gruppo di ingranaggi	1	2	3	4	5	6	7
Velocità di uscita di ingranaggio a corona (RPM)	3523	3523	3523	3523	3523	3523	3523
Velocità di ingresso di ingranaggio solare (RPM)	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000
Velocità di albero di rinvio (RPM)	9184	9461	9747	10044	10351	10670	11000
Diametro di passo di ingranaggio solare (mm)	160	165	170	175	180	185	190
Diametro di passo di ingranaggio a corona (mm)	457,4	457,4	457,4	457,4	457,4	457,4	457,4

Rapporto di trasmissione totale (GRTotale)	1,98 7	1,98 7	1,98 7	1,98 7	1,98 7	1,98 7	1,98 7
Diametro di passo di secondo stadio (mm)	175,5	170,4	165,3	160,5	155,7	151,1	146,5
Diametro di passo di primo stadio (mm)	121,9	122,1	122,1	122	121,7	121,4	120,9
Rapporto di trasmissione di secondo stadio (GR2)	2,61	2,69	2,77	2,85	2,94	3,03	3,12
Rapporto di trasmissione di primo stadio (GR1)	0,76	0,74	0,72	0,7	0,68	0,66	0,64
Velocità di linea di passo di primo stadio (m/s)	58,6	60,5	62,3	64,1	66	67,8	69,6
Velocità di linea di passo di secondo stadio (m/s)	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4
Diametro di albero di INGRESSO	106,5	116,7	126,7	136,5	146	155,3	164,4
Numero di alberi di rinvio	4	4	4	5	5	5	5

TABELLA 2. Parametri di gruppo di ingranaggi composti

Progettazione di gruppo di ingranaggi	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Velocità di uscita di	3523	3523	3523	3523	3523	3523	3523	3523

ingranaggio a corona (RPM)								
Velocità di ingresso di ingranaggio solare (RPM)	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000
Velocità di albero di rinvio (RPM)	11343	11699	12070	12455	12856	13274	13710	14166
Diametro di passo di ingranaggio solare (mm)	195	200	205	210	215	220	225	230
Diametro di passo di ingranaggio a corona (mm)	457,4	457,4	457,4	457,4	457,4	457,4	457,4	457,4
Rapporto di trasmissione totale (GRTotale)	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987
Diametro di passo di secondo stadio (mm)	142,1	137,8	133,5	129,4	125,4	121,4	117,6	113,8
Diametro di passo di primo stadio (mm)	120,3	119,7	118,9	118	117,1	116	114,9	113,7
Rapporto di trasmissione di secondo stadio (GR2)	3,22	3,32	3,43	3,53	3,65	3,77	3,89	4,02
Rapporto di trasmissione di primo stadio (GR1)	0,62	0,6	0,58	0,56	0,54	0,53	0,51	0,49
Velocità di linea di passo di primo stadio (m/s)	71,5	73,3	75,1	77	78,8	80,6	82,5	84,3

Velocità di linea di passo di secondo stadio (m/s)	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4
Diametro di albero di INGRESSO	173,3	181,9	190,4	198,6	206,7	214,6	222,3	229,9	
Numero di alberi di rinvio	6	6	6	7	7	7	8	8	

Negli esempi specifici dettagliati nelle tabelle 1 e 2, l'albero di ingresso 304 può azionare l'ingranaggio solare 310 avente un diametro di passo (PDSun) tra 160 e 230 mm, quale 160 mm, 165 mm, 170 mm, 175 mm, 180 mm, 185 mm, 190 mm, 195 mm, 200 mm, 205 mm, 210 mm, 215 mm, 220 mm, 225 mm, 230 mm o qualsiasi diametro intermedio e che ruota a 7000 RPM insieme all'albero di ingresso. L'ingranaggio solare 310 si impegna con l'ingranaggio di primo stadio 316 della pluralità di ingranaggi satelliti 312, aventi ciascuno un diametro di passo di primo stadio (PD<sub>1</sub>) tra 121,9 e 113,7 mm, quale 121,9 mm, 122,1 mm, 112,0 mm, 121,7 mm, 121,4 mm, 120,9 mm, 120,3 mm, 119,7 mm, 118,9 mm, 118,0 mm, 117,1 mm, 116,0 mm, 114,9 mm, 113,7 mm o qualsiasi diametro intermedio e aziona gli ingranaggi satelliti 312 ad una velocità di albero di rinvio che varia tra 9184 e 14166 RPM, quale 9184 RPM, 9461 RPM, 9747 RPM, 10044 RPM, 10351 RPM, 10670 RPM, 11000 RPM, 11343 RPM, 11699 RPM, 12070 RPM, 112455 RPM, 12856 RPM, 13274 RPM, 13710 RPM, 14166 RPM o qualsiasi velocità di albero di rinvio intermedia. I corrispondenti rapporti di

trasmissione ( $GR_1$ ) tra l'ingranaggio solare 310 e l'ingranaggio di primo stadio 316 della pluralità di ingranaggi satelliti 312 possono variare da 0,76 a 0,49, quali 0,76, 0,74, 0,72, 0,70, 0,68, 0,66, 0,64, 0,62, 0,60, 0,58, 0,56, 0,54, 0,53, 0,51, 0,49 o un qualsiasi rapporto di trasmissione intermedio. L'ingranaggio di primo stadio 316 degli ingranaggi satelliti 312 può avere una velocità di linea di passo che varia da 58,6 a 84,3 m/s, quale 58,6 m/s, 60,5 m/s, 62,3 m/s, 64,1 m/s, 66,0 m/s, 67,8 m/s, 69,6 m/s, 71,5 m/s, 73,3 m/s, 75,1 m/s, 77,0 m/s, 78,8 m/s, 80,6 m/s, 82,5 m/s, 84,3 m/s o una qualsiasi velocità di linea di passo intermedia.

Negli esempi specifici dettagliati nelle tabelle 1 e 2, l'ingranaggio di secondo stadio 318 di ciascuno degli ingranaggi satelliti 312 ruota insieme al corrispondente ingranaggio di primo stadio 316 di ogni ingranaggio satellite 312. L'ingranaggio di secondo stadio 318 degli ingranaggi satelliti 312 può avere un diametro di passo di secondo stadio ( $PD_2$ ) maggiore del diametro di passo di primo stadio ( $PD_1$ ) e tra 175,5 e 113,8 mm, quale 175,5 mm, 170,4 mm, 165,3 mm, 160,5 mm, 155,7 mm, 151,1 mm, 146,5 mm, 142,1 mm, 137,8 mm, 133,5 mm, 129,4 mm, 125,4 mm, 121,4 mm, 117,6 mm, 113,8 mm o un qualsiasi diametro intermedio e può ruotare ad una velocità di albero di rinvio che varia tra 9184 e 14166 RPM, quale 9184 RPM, 9461 RPM, 9747 RPM, 10044 RPM, 10351 RPM,

10670 RPM, 11000 RPM, 11343 RPM, 11699 RPM, 12070 RPM, 112455 RPM, 12856 RPM, 13274 RPM, 13710 RPM, 14166 RPM o una qualsiasi velocità di albero di rinvio intermedia.

Negli esempi specifici dettagliati nelle tabelle 1 e 2, l'ingranaggio di secondo stadio 318 di ciascuno degli ingranaggi satelliti 312 si impegna con l'ingranaggio a corona 314, che può avere un diametro di passo di ingranaggio a corona (PDRing) di 457,43 mm. I corrispondenti rapporti di trasmissione tra l'ingranaggio di secondo stadio 318 di ciascuno degli ingranaggi satelliti 312 e l'ingranaggio a corona ( $GR_2$ ) può variare da 2,61 a 4,02, quale 2,61, 2,69, 2,77, 2,85, 2,94, 3,03, 3,12, 3,22, 3,32, 3,43, 3,53, 3,65, 3,77, 3,89, 4,02 o un qualsiasi rapporto di trasmissione intermedio e, moltiplicato per  $GR_1$ , può determinare che il gruppo di ingranaggi 302 abbia il rapporto di trasmissione totale desiderato ( $GR_{Totale}$ ) di 1,987. In questi esempi l'ingranaggio di secondo stadio 318 di ciascun ingranaggio satellite 312 può avere una velocità di linea di passo di 84,4 m/s.

Come dettagliato nelle tabelle 1 e 2, minori rapporti di trasmissione tra l'ingranaggio di secondo stadio 318 degli ingranaggi satelliti 312 e l'ingranaggio a corona 314 ( $GR_2$ ) corrispondono a ingranaggi satelliti aventi ingranaggi di primo stadio 316 e ingranaggi di secondo stadio 318 più grandi, come indicato dai diametri di passo

corrispondentemente maggiori del primo e del secondo stadio ( $PD_1$ ,  $PD_2$ ). Come discusso in precedenza, gli ingranaggi satelliti 312 più grandi offrono diversi vantaggi, quale la capacità di adattarsi a cuscinetti cilindrici 328 più grandi e più stabili. In aggiunta, come indicato nella tabella 1, quando si utilizzano ingranaggi satelliti più grandi, risulta possibile utilizzare meno ingranaggi satelliti 312, il che a sua volta riduce il conteggio delle parti del gruppo di ingranaggi. Inoltre, la velocità di linea di passo (ovvero, la velocità lineare dei denti di ingranaggio lungo la linea di passo/il diametro di passo) tra l'ingranaggio solare 310 e l'ingranaggio di primo stadio 316 dell'ingranaggio satellite 312 è minore quando si possono utilizzare ingranaggi più grandi. La velocità di linea di passo governa la velocità e la forza a cui i denti dei vari ingranaggi del gruppo di ingranaggi si impegnano tra loro. Una velocità di linea di passo maggiore, come discusso in precedenza, può determinare una usura più rapida dei denti di ingranaggi, dato che l'impegno avviene a velocità e a forza maggiori. Di conseguenza, una minore velocità di linea di passo può migliorare l'efficienza dei gruppi di ingranaggi e ridurre i costi di manutenzione dei motori.

I gruppi di ingranaggi secondo gli esempi divulgati sopra offrono la capacità di conseguire minori rapporti di trasmissione con progettazioni di gruppi di ingranaggi più

robuste e/o in un assieme radiale più piccolo quando confrontati con un convenzionale gruppo di ingranaggi satelliti. Tali gruppi di ingranaggi possono anche avere un minore conteggio delle parti, maggiore durata utile delle parti e maggiori efficienze quando confrontati con un convenzionale gruppo di ingranaggi epicicloidali.

La presente descrizione scritta utilizza esempi per descrivere la divulgazione, inclusa la modalità migliore e anche per consentire a qualsiasi esperto nella tecnica di mettere in pratica la divulgazione, inclusi la realizzazione e l'utilizzo di qualsiasi dispositivo o sistema e l'esecuzione di qualsiasi metodo incorporato. L'ambito di protezione brevettabile della divulgazione è definito dalle rivendicazioni e può includere altri esempi che si presenteranno a tali esperti nella tecnica. Tali altri esempi sono intesi come rientranti nell'ambito di protezione delle rivendicazioni se includono elementi strutturali che non differiscono dal linguaggio letterale delle rivendicazioni o se includono elementi strutturali equivalenti con differenze non sostanziali dai linguaggi letterali delle rivendicazioni.

Ulteriori aspetti della divulgazione sono forniti dall'argomento in oggetto delle seguenti clausole:

Clausola 1. Gruppo di ingranaggi epicicloidali, comprendente un albero di ingresso, un albero di uscita, un



ingranaggio solare collegato all'albero di ingresso e aventi un diametro di passo di ingranaggio solare, una pluralità di ingranaggi satelliti disposti radialmente all'esterno rispetto all'ingranaggio solare aventi un primo stadio con un diametro di passo di primo stadio e un secondo stadio con un diametro di passo di secondo stadio e un ingranaggio a corona avente un diametro di passo di ingranaggio a corona disposto radialmente all'esterno della pluralità di ingranaggi satelliti, collegato all'albero di uscita e configurato per azionare l'albero di uscita; in cui l'ingranaggio solare è configurato per essere azionato da un albero di ingresso ed è impegnato con il primo stadio della pluralità di ingranaggi satelliti, in cui i secondi stadi della pluralità di ingranaggi satelliti sono impegnati con l'ingranaggio a corona e in cui il diametro di passo di ingranaggio solare è maggiore del diametro di passo di primo stadio e il diametro di passo di secondo stadio è maggiore del diametro di passo di primo stadio, in modo tale che il primo stadio dell'ingranaggio satellite sia un ingranaggio moltiplicatore e il secondo stadio dell'ingranaggio satellite sia un ingranaggio riduttore.

Clausola 2. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 1, in cui un rapporto di trasmissione totale tra l'ingranaggio solare e l'ingranaggio a corona è minore di

3,5.

Clausola 3. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 1, in cui un rapporto di trasmissione totale tra l'ingranaggio solare e l'ingranaggio a corona è minore di 2,3.

Clausola 4. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 1, in cui la pluralità di ingranaggi satelliti comprende 6 o meno ingranaggi satelliti composti.

Clausola 5. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 1, in cui un rapporto tra il diametro di passo di primo stadio e il diametro di passo di secondo stadio è minore di 0,9.

Clausola 6. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 1, in cui il primo stadio della pluralità di ingranaggi satelliti e il secondo stadio della pluralità di ingranaggi satelliti sono formati in modo solidale.

Clausola 7. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 1, in cui uno qualsiasi tra l'ingranaggio solare, gli ingranaggi satelliti e l'ingranaggio a corona è un ingranaggio elicoidale.

Clausola 8. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola della presente, in particolare la clausola 1, in cui il primo stadio e il secondo stadio degli ingranaggi satelliti formano insieme una pluralità di alberi di rinvio solidali.

Clausola 9. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 8, in cui il secondo stadio degli ingranaggi satelliti comprende un primo ingranaggio di secondo stadio e un ingranaggio di secondo stadio e in cui ogni albero di rinvio solidale comprende un ingranaggio di primo stadio disposto tra il primo ingranaggio di secondo stadio e l'ingranaggio di secondo stadio.

Clausola 10. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 1, in cui l'albero di uscita è configurato per azionare un gruppo di ventola.

Clausola 11. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 1, in cui un rapporto di trasmissione tra l'ingranaggio solare e il primo stadio degli ingranaggi satelliti è minore di 1 e un rapporto di trasmissione tra il secondo stadio degli ingranaggi satelliti e l'ingranaggio a corona è maggiore di un rapporto di trasmissione totale tra l'ingranaggio solare e l'ingranaggio a corona.

Clausola 12. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 1, in cui il secondo stadio degli ingranaggi satelliti ha un diametro di passo di secondo stadio e in cui il diametro di passo di secondo stadio è maggiore del diametro di passo di primo stadio.

Clausola 13. Gruppo di ingranaggi epicicloidali secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 1, in cui gli ingranaggi satelliti sono contenuti in un portatreno epicicloidale e il portatreno epicicloidale è attaccato a un alloggiamento di motore fisso.

Clausola 14. Motore di turbomacchina comprendente un albero di ingresso, un albero di uscita, un gruppo di ingranaggi epicicloidali comprendente un ingranaggio conduttore, un ingranaggio di primo stadio, un ingranaggio di secondo stadio e un ingranaggio di uscita; in cui l'ingranaggio conduttore è attaccato all'albero di ingresso e impegnato con l'ingranaggio di primo stadio, in cui l'ingranaggio riduttore e l'ingranaggio di primo stadio sono coassiali e configurati per ruotare insieme, in cui l'ingranaggio riduttore è impegnato con l'ingranaggio di uscita e in cui l'ingranaggio di uscita è attaccato all'albero di uscita.

Clausola 15. Motore di turbomacchina secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la

clausola 14, in cui l'ingranaggio di primo stadio e l'ingranaggio di secondo stadio sono formati in modo solidale come parte di un albero di rinvio di ingranaggio satellite e in cui l'albero di rinvio di ingranaggio satellite comprende l'ingranaggio di primo stadio, l'ingranaggio di secondo stadio, un perno di albero di rinvio che si estende assialmente attraverso l'ingranaggio di primo stadio e l'ingranaggio di secondo stadio e una pluralità di cuscinetti a rulli disposti tra il perno di albero di rinvio e l'ingranaggio di secondo stadio.

Clausola 16. Motore di turbomacchina secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 14, in cui l'ingranaggio di primo stadio ha un primo diametro di passo e l'ingranaggio di secondo stadio ha un secondo diametro di passo e in cui il secondo diametro di passo è maggiore del primo diametro di passo.

Clausola 17. Motore di turbomacchina secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 14, in cui l'ingranaggio conduttore è un ingranaggio solare, l'ingranaggio di uscita è un ingranaggio a corona e l'ingranaggio conduttore e l'ingranaggio di uscita sono coassiali.

Clausola 18. Motore di turbomacchina secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 17, in cui l'ingranaggio di primo stadio e

l'ingranaggio di secondo stadio sono disposti radialmente tra l'ingranaggio conduttore e l'ingranaggio di primo stadio.

Clausola 19. Motore di turbomacchina secondo una qualsiasi clausola nella presente, in particolare la clausola 14, in cui un rapporto di trasmissione totale tra l'ingranaggio conduttore e l'ingranaggio di uscita è minore di 3,5.

Clausola 20. Velivolo comprendente un motore a turboventola avente un albero di uscita di motore centrale, un gruppo di ingranaggi e un albero di uscita configurato per azionare un primo gruppo di ventola, in cui il gruppo di ingranaggi comprende un ingranaggio solare collegato all'albero di uscita di motore centrale e avente un diametro di passo di ingranaggio solare, una pluralità di ingranaggi satelliti disposti radialmente all'esterno rispetto all'ingranaggio solare aventi un primo stadio con un diametro di passo di primo stadio e un secondo stadio con un diametro di passo di secondo stadio e un ingranaggio a corona avente un diametro di passo di ingranaggio a corona disposto radialmente all'esterno della pluralità di ingranaggi satelliti, collegato all'albero di uscita e configurato per azionare l'albero di uscita; in cui l'ingranaggio solare è configurato per essere azionato da un albero di ingresso ed è impegnato con il primo stadio della pluralità di ingranaggi

satelliti, in cui i secondi stadi della pluralità di ingranaggi satelliti sono impegnati con l'ingranaggio a corona, in cui il diametro di passo di ingranaggio solare è maggiore del diametro di passo di primo stadio e il diametro di passo di secondo stadio è maggiore del diametro di passo di primo stadio, in modo tale che il primo stadio sia un ingranaggio moltiplicatore e il secondo stadio sia un ingranaggio riduttore.

Alla luce delle molte possibili forme di realizzazione a cui possono essere applicati i principi della divulgazione descritta, si dovrebbe riconoscere che le forme di realizzazione illustrate sono soltanto esempi preferiti della divulgazione e non dovrebbero essere considerate come limitanti l'ambito di protezione della divulgazione. Piuttosto, l'ambito di protezione della divulgazione è definito dalle seguenti rivendicazioni.

## RIVENDICAZIONI

1. Gruppo di ingranaggi epicicloidali (102, 202, 302),  
comprendente:

un albero di ingresso (304);

un albero di uscita (306);

un ingranaggio solare (310) collegato all'albero di  
ingresso (304) e avente un diametro di passo di ingranaggio  
solare;

una pluralità di ingranaggi satelliti (312) disposti  
radialmente all'esterno rispetto all'ingranaggio solare  
(310) aventi ciascuno un ingranaggio di primo stadio (316)  
con un diametro di passo di primo stadio e un ingranaggio di  
secondo stadio (318) con un diametro di passo di secondo  
stadio; e

un ingranaggio a corona (314) avente un diametro di  
passo di ingranaggio a corona disposto radialmente  
all'esterno della pluralità di ingranaggi satelliti (312),  
collegato all'albero di uscita (306) e configurato per  
azionare l'albero di uscita (306);

in cui l'ingranaggio solare (310) è configurato per  
essere azionato da un albero di ingresso (304) ed è impegnato  
con l'ingranaggio di primo stadio (316) di ogni ingranaggio  
satellite (312) della pluralità di ingranaggi satelliti  
(312);

in cui l'ingranaggio di secondo stadio (318) di ogni



ingranaggio satellite (312) della pluralità di ingranaggi satelliti (312) è impegnato con l'ingranaggio a corona (314);  
e

in cui il diametro di passo di ingranaggio solare è maggiore del diametro di passo di primo stadio e il diametro di passo di secondo stadio è maggiore del diametro di passo di primo stadio, in modo tale che l'ingranaggio di primo stadio (316) di ogni ingranaggio satellite (312) della pluralità di ingranaggi satelliti (312) sia un ingranaggio moltiplicatore e l'ingranaggio di secondo stadio (318) di ogni ingranaggio satellite (312) della pluralità di ingranaggi satelliti (312) sia un ingranaggio riduttore.

2. Gruppo di ingranaggi epicicloidali (102, 202, 302) secondo la rivendicazione 1, in cui un rapporto di trasmissione totale tra l'ingranaggio solare (310) e l'ingranaggio a corona (314) è minore di 3,5.

3. Gruppo di ingranaggi epicicloidali (102, 202, 302) secondo la rivendicazione 1, in cui un rapporto tra il diametro di passo dell'ingranaggio di primo stadio (316) di ogni ingranaggio satellite (312) della pluralità di ingranaggi satelliti (312) e l'ingranaggio di secondo stadio (318) della pluralità di ingranaggi satelliti (312) è minore di 0,9.

4. Gruppo di ingranaggi epicicloidali (102, 202, 302) secondo la rivendicazione 1, in cui uno qualsiasi tra

l'ingranaggio solare (310), gli ingranaggi satelliti (312) o l'ingranaggio a corona (314) è un ingranaggio elicoidale.

5. Gruppo di ingranaggi epicicloidali (102, 202, 302) secondo la rivendicazione 1, in cui un rapporto di trasmissione tra l'ingranaggio solare (310) e l'ingranaggio di primo stadio (316) di ogni ingranaggio satellite (312) della pluralità di ingranaggi satelliti (312) è minore di 1 e un rapporto di trasmissione tra l'ingranaggio di secondo stadio (318) di ogni ingranaggio satellite (312) della pluralità di ingranaggi satelliti (312) e l'ingranaggio a corona (314) è maggiore di un rapporto di trasmissione totale tra l'ingranaggio solare (310) e l'ingranaggio a corona (314).

6. Gruppo di ingranaggi epicicloidali (102, 202, 302) secondo la rivendicazione 1, in cui l'ingranaggio di secondo stadio (318) di ogni ingranaggio satellite (312) della pluralità di ingranaggi satelliti (312) ha un diametro di passo di secondo stadio e in cui il diametro di passo di secondo stadio è maggiore del diametro di passo di primo stadio.

7. Motore di turbomacchina (100, 200, 300) comprendente:

un albero di ingresso (304);

un albero di uscita (306);

un gruppo di ingranaggi epicicloidali (102, 202, 302)

comprendente un ingranaggio conduttore, un ingranaggio di primo stadio (316), un ingranaggio di secondo stadio (318) e un ingranaggio di uscita;

in cui l'ingranaggio conduttore è attaccato all'albero di ingresso (304) e impegnato con l'ingranaggio di primo stadio (316);

in cui l'ingranaggio di secondo stadio (318) e l'ingranaggio di primo stadio (316) sono coassiali e configurati per ruotare insieme;

in cui l'ingranaggio di secondo stadio (318) è impegnato con l'ingranaggio di uscita; e

in cui l'ingranaggio di uscita è attaccato all'albero di uscita (306).

8. Motore di turbomacchina secondo la rivendicazione 7, in cui l'ingranaggio di primo stadio (316) e l'ingranaggio di secondo stadio (318) sono formati in modo solidale come parte di un albero di rinvio di ingranaggi satelliti (312) e in cui l'albero di rinvio di ingranaggi satelliti (312) comprende l'ingranaggio di primo stadio (316), l'ingranaggio di secondo stadio (318), un perno di albero di rinvio (320) che si estende assialmente attraverso l'ingranaggio di primo stadio (316) e l'ingranaggio di secondo stadio (318), e una pluralità di cuscinetti a rulli (328) disposti tra il perno di albero di rinvio (320) e l'ingranaggio di secondo stadio (318).

9. Motore di turbomacchina secondo la rivendicazione 7, in cui un rapporto di trasmissione totale tra l'ingranaggio conduttore e l'ingranaggio di uscita è minore di 3,5.

10. Velivolo comprendente:

un motore a turboventola (100, 200, 300) avente un albero di uscita di motore centrale (122, 222, 304), un gruppo di ingranaggi (102, 202, 302) e un albero di uscita (124, 306) configurato per azionare un primo gruppo di ventola (104, 204), in cui il gruppo di ingranaggi (102, 202, 302) comprende:

un ingranaggio solare (310) collegato all'albero di uscita di motore centrale (122, 222, 304) e avente un diametro di passo di ingranaggio solare;

una pluralità di ingranaggi satelliti (312) disposti radialmente all'esterno rispetto all'ingranaggio solare (310), ciascuno della pluralità di ingranaggi satelliti (312) avendo un ingranaggio di primo stadio (316) con un diametro di passo di primo stadio e un ingranaggio di secondo stadio (318) con un diametro di passo di secondo stadio; e

un ingranaggio a corona (314) avente un diametro di passo di ingranaggio a corona disposto radialmente all'esterno della pluralità di ingranaggi satelliti (312), collegato all'albero di uscita (306) e configurato per azionare l'albero di uscita (306);

in cui l'ingranaggio solare (310) è configurato per

essere azionato da un albero di ingresso (304) ed è impegnato con l'ingranaggio di primo stadio (316) di ogni ingranaggio satellite (312) della pluralità di ingranaggi satelliti (312);

in cui l'ingranaggio di secondo stadio (318) di ogni ingranaggio satellite (312) della pluralità di ingranaggi satelliti (312) è impegnato con l'ingranaggio a corona (314);  
e

in cui il diametro di passo di ingranaggio solare è maggiore del diametro di passo di primo stadio e il diametro di passo di secondo stadio è maggiore del diametro di passo di primo stadio, in modo tale che l'ingranaggio di primo stadio (316) di ogni ingranaggio satellite (312) della pluralità di ingranaggi satelliti (312) sia un ingranaggio moltiplicatore e l'ingranaggio di secondo stadio (318) sia un ingranaggio riduttore.