

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000028559
Data Deposito	10/11/2021
Data Pubblicazione	10/05/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	02	C	6	06

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	02	C	7	36

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	02	C	9	44

Titolo

Method of Controlling the Renewable Energy Use in an LNG Train
--

Metodo per controllare l'uso di energia rinnovabile in un treno LNG

Descrizione

CAMPO TECNICO

5 [0001] La presente descrizione riguarda un metodo per massimizzare l'uso di fonti di energia rinnovabili in un impianto di gas naturale liquefatto (LNG, liquefied natural gas), per aumentare l'efficienza, ridurre i costi di manutenzione complessivi, nonché ridurre l'inquinamento introdotto nell'atmosfera.

STATO DELL'ARTE

10 [0002] Come è ben noto, il gas naturale è una delle più importanti fonti di energia attualmente disponibili sul mercato. Si stima che circa il 30% della domanda mondiale di energia sia soddisfatto, direttamente o indirettamente, dal gas naturale.

[0003] Solitamente, il gas naturale viene erogato mediante tubazioni in forma gassosa. Tuttavia, negli ultimi due decenni gli impianti di gas naturale liquefatto (LNG) sono diventati molto più importanti sul mercato dell'energia. Si prevede che l'LNG rivesta
15 un ruolo molto importante nella transizione mondiale verso fonti di energia (verde) più pulita. È questa la ragione per cui esso viene fortemente promosso da governi centrali e diversi organismi pubblici e privati.

[0004] L'LNG è gas naturale in forma liquida. Per liquefare il gas naturale, la sua temperatura deve essere ridotta fino a temperature criogeniche di approssimativamente
20 -160 °C. Allo stato liquido, il gas naturale occupa una frazione del volume che presenta una volta estratto (occupa circa 1/600 del volume di gas naturale alla pressione atmosferica), pertanto i suoi costi di trasporto e stoccaggio si rivelano essere notevolmente inferiori e funzionali. L'LNG è altresì più facile da trasportare su grandi distanze. A tale riguardo, si considera che il gas naturale sia spesso estratto in aree geografiche
25 dove non è possibile il trasporto in tubazioni.

[0005] Per raffreddare il gas naturale, devono essere azionati diversi compressori. Come è ben noto, un compressore è una macchina azionata da una turbina a gas per agire su un gas di refrigerazione per aumentare l'altezza piezometrica di un fluido. Sono disponibili diversi compressori differenti, come compressori centrifughi,

compressori a stantuffo e simili. In generale, vengono azionate schiere di compressori centrifughi.

5 **[0006]** La schiera di compressori centrifughi di un impianto LNG viene tipicamente azionata da almeno una turbina a gas. Negli ultimi anni, anche a causa della crescente domanda di energia, in aggiunta alla turbina a gas, è stato aggiunto un motore/generatore elettrico, funzionante sullo stesso albero della turbina a gas. La combinazione di una turbina a gas e di un motore/generatore elettrico è altresì denominata sistema a turbina a gas ibrido o treno a turbina a gas ibrido o treno di potenza ibrido.

10 **[0007]** Uno dei problemi dei treni di potenza tipicamente usati negli impianti LNG, inclusi i treni di potenza ibridi, è che emettono inquinanti, in particolare per via del funzionamento della turbina a gas. In particolare, questo problema è stato superato dai treni di potenza ibridi poiché il motore/generatore elettrico può assorbire energia da una rete elettrica a cui è collegato o introdurre un eventuale eccesso di energia prodotto dalla turbina a gas in reti elettriche, in modo da ridurre il rapporto tra inquinante pro-

15 dotto e watt generato.

[0008] Di fatto, i motori/generatori elettrici sono altresì denominati macchine elettriche reversibili poiché possono anche funzionare come un generatore. I motori/generatori elettrici sono controllati da dispositivi noti come azionamenti a frequenza variabile (VFD, variable frequency drive), ossia dispositivi progettati per azionare il motore/generatore elettrico in qualsiasi condizione di funzionamento differente azionando al

20 contempo carichi meccanici (compressori o la turbina a gas, ad esempio per avviare lo stesso), per massimizzare il trasferimento di potenza.

[0009] La sinergia tra una turbina a gas e un motore/generatore elettrico è stata sfruttata negli anni passati per ridurre gli inquinanti rilasciati nell'atmosfera.

25 **[0010]** Sono disponibili sistemi che controllano i treni di potenza ibridi installati in impianti LNG, ad esempio monitorando e regolando le variabili di funzionamento. Questi sistemi sono in grado di monitorare il peggioramento complessivo delle prestazioni del sistema nel tempo. Tuttavia, non tutte le parti di un treno di potenza ibrido si deteriorano allo stesso modo. I sistemi di monitoraggio e controllo disponibili non

30 sono in grado di controllare i treni di potenza ibridi al fine di massimizzare la durata delle parti che comprendono.

[0011] Di conseguenza, un treno di potenza ibrido migliorato in grado di ridurre l'inquinamento e di ridurre i costi di manutenzione (e pertanto il CAPEX) sarebbe ben accetto nella tecnologia.

SOMMARIO

- 5 **[0012]** L'oggetto descritto nella presente è un metodo per controllare un treno di potenza ibrido, installato ad esempio e non necessariamente in un impianto LNG, o altresì in altri tipi di impianti, azionando al contempo un carico, come un compressore, una pompa o qualsiasi altra macchina. Il metodo usa uno o più segnali di controllo ricevuti dall'attrezzatura e dalle parti del treno di potenza ibrido, per consentire il controllo di combustibile che alimenta la turbina a gas e la potenza generata o trasformata dal motore/generatore elettrico, per massimizzare la potenza da generare, massimizzare la vita della turbina a gas e ridurre al minimo le emissioni di inquinanti.
- 10 **[0013]** L'oggetto descritto si riferisce in alcune forme di realizzazione a un'unità ad albero singolo collegata in modo rigido a un motore/generatore elettrico e destinata specificamente alla produzione di LNG o a simili processi ad elevata intensità energetica, in grado di usare informazioni e valori variabili. Il metodo si basa su specifiche azioni basate su eventi, correlate ma non limitate all'ottimizzazione della disponibilità e dei target di produzione, come: diagnostica della turbina a gas e modelli basati sulla fisica; combustione a secco a ridotta emissione di NO_x (DLN, Dry Low NO_x; è a SECCO poiché la riduzione dell'inquinante è ottenuta mediante lo stesso combustore senza l'iniezione di acqua o vapore, pertanto vi è un abbattimento a UMIDO); parametri di salute del motore/generatore elettrico come scarico parziale; parametri di salute dei dispositivi a frequenza variabile, parametri di salute del parco eolico/solare per anticipare la gestione di potenza della turbina a gas.
- 20 **[0014]** Inoltre, l'oggetto descritto nella presente è rivolto a un treno di potenza ibrido in grado di ridurre l'inquinamento bilanciando l'energia derivata da fonti rinnovabili, bilanciando l'uso di quest'ultima e di quella prodotta dalle turbine a gas, massimizzando l'RTE (Round Trip Efficiency, efficienza di carica/scarica; si riferisce all'efficienza complessiva del processo per caricare lo stoccaggio di energia e recuperare nuovamente l'energia dallo stoccaggio e riusarla) delle rinnovabili e l'affidabilità e disponibilità del treno, quando si usa la fonte di energia rinnovabile.
- 30

[0015] La soluzione descritta mira a massimizzare l'affidabilità dei processi ad elevata intensità energetica, come un impianto LNG, comprendente un treno di potenza ibrido, quando si usa una fonte rinnovabile, al fine di consentirgli di assorbire quanta più energia elettrica possibile proveniente da energie rinnovabili, ottimizzando al contempo la produzione di LNG. L'uso diretto degli impianti di produzione di energia rinnovabile nella produzione di LNG ottimizza l'uso di energie rinnovabili e gli inquinanti emessi dalla turbina (CO₂, NO_x).

[0016] In un aspetto, l'oggetto descritto nella presente è rivolto a un metodo per controllare l'energia rinnovabile assorbita da un treno di potenza ibrido per azionare un carico. Il treno di potenza ibrido comprende come attrezzatura una turbina a gas e un motore/generatore elettrico, quest'ultimo collegato a un impianto di generazione di potenza e a una fonte di energia rinnovabile. Il metodo fornisce le fasi di rilevare parametri di ingresso di ciascuna attrezzatura prima di applicare una prima istruzione condizionale, per determinare una funzione membro combinata. La funzione membro combinata può avere due o più stati di qualifica come uscita, per verificare se l'attrezzatura funziona correttamente o meno. Se l'attrezzatura funziona correttamente, viene applicata una seconda istruzione condizionale alla fonte di energia rinnovabile (come un impianto fotovoltaico, un impianto eolico, sistemi a energia solare concentrata e simili), in modo da determinare le funzioni membro della stessa. La funzione membro della fonte di energia rinnovabile ha due o più stati di qualifica come uscita, in modo tale che se quest'ultima non funziona correttamente, viene quindi eseguita una terza istruzione condizionale all'impianto di generazione di potenza, per verificare se quest'ultimo funziona correttamente. In tal caso, viene eseguito un cambio di suddivisione di carico tra la turbina a gas e il motore/generatore elettrico.

[0017] Se la fonte di energia rinnovabile funziona in modo corretto, la potenza generata dalla turbina a gas e l'energia assorbita dalla fonte di energia rinnovabile vengono quindi determinate secondo una funzione obiettivo; diversamente, se l'attrezzatura verificata non funziona correttamente, viene quindi eseguita la suddivisione di carico tra la turbina a gas e il motore/generatore elettrico.

[0018] In un altro aspetto, l'oggetto descritto nella presente riguarda il fatto che l'attrezzatura comprende un dispositivo di rilevamento variabile collegato a un motore/generatore elettrico, e a un impianto di generazione di potenza, e a una fonte di energia

rinnovabile. Nella fase di rilevare, la condizione iniziale rilevata è quella del motore/generatore elettrico e del dispositivo di rilevamento variabile. Inoltre, la prima istruzione condizionale comprende le sottofasi di associare una funzione membro parametrica a ciascun parametro di ingresso del motore/generatore elettrico, combinare
 5 le funzioni membro parametriche del motore/generatore elettrico tramite una tabella della verità per ottenere indici di salute e quindi una funzione membro di attrezzatura, associare una funzione membro parametrica a ciascun parametro di ingresso del dispositivo a frequenza variabile, combinare le funzioni membro parametriche del dispositivo a frequenza variabile tramite una tabella della verità per ottenere indici di
 10 salute e quindi una funzione membro di attrezzatura. Infine, la funzione membro di ciascun elemento di attrezzatura viene combinata, per ottenere una funzione membro combinata avente due o più stati di qualifica come uscita.

[0019] In un altro aspetto, nella presente viene descritto che la funzione membro combinata può supporre un primo stato di qualifica, un secondo stato di qualifica e un terzo
 15 stato di qualifica. Se la funzione membro combinata suppone il primo stato di qualifica (Scadente), il carico della turbina a gas viene quindi aumentato e il motore/generatore elettrico viene alleggerito. Se la funzione membro combinata suppone il secondo stato di qualifica (Medio), la suddivisione di carico tra la turbina a gas e il motore/generatore elettrico viene cambiata. Se la funzione membro combinata suppone il terzo stato di
 20 qualifica (Buono), la seconda istruzione condizionale viene quindi applicata alla fonte di energia rinnovabile.

[0020] Un ulteriore aspetto della presente descrizione è rivolto a una funzione obiettivo per ridurre al minimo l'uso della turbina a gas, in modo tale che il carico della turbina a gas rimanga al di sopra della soglia di trasferimento di combustore $Pm x_{Load}$,
 25 oltre a un margine di carico Δ_{Load} , per gestire potenziali transienti di carico.

[0021] In un altro aspetto, viene descritto nella presente che i parametri di ingresso sono segnali elettrici analogici o digitali.

[0022] In un aspetto della presente descrizione vi è un impianto di potenza comprendente un treno di potenza ibrido avente un albero passante, una turbina a gas, collegata
 30 meccanicamente all'albero, un motore/generatore elettrico, collegato meccanicamente all'albero, e un dispositivo a frequenza variabile, collegato al motore/generatore

- elettrico, e a un impianto di generazione di potenza e a una fonte di energia rinnovabile. L'impianto a frequenza variabile può essere fatto funzionare per consentire al motore/generatore elettrico di trasformare l'energia dall'impianto di generazione di potenza e alla fonte di energia rinnovabile di azionare il carico o di assistere il funzionamento della turbina a gas. L'impianto di potenza comprende altresì un carico che è collegato meccanicamente all'albero e un'unità di controllo di impianto per controllare il treno di potenza ibrido per massimizzare l'energia usata proveniente dalla fonte di energia rinnovabile massimizzando il carico di azionamento del motore/generatore elettrico.
- 10 **[0023]** In un aspetto della presente descrizione, il carico comprende uno o più compressori centrifughi per refrigerare il gas naturale.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

- [0024]** Una comprensione più completa delle forme di realizzazione descritte dell'invenzione e di numerosi dei relativi vantaggi correlati verrà facilmente ottenuta man
15 mano che la stessa viene meglio compresa con riferimento alla seguente descrizione dettagliata quando considerata congiuntamente agli uniti disegni, in cui:

la Fig. 1 illustra un sistema di controllo di un treno di potenza ibrido per controllare un carico per massimizzare l'uso di fonti di energia rinnovabili;

- la Fig. 2 illustra uno schema di un treno di potenza ibrido dell'impianto collegato
20 a fonti di energia e a carichi da azionare;

la Fig. 3 illustra un diagramma schematico dell'unità di controllo di impianto;

la Fig. 4 illustra un diagramma di flusso del metodo per controllare l'uso di energie rinnovabili, secondo una prima forma di realizzazione;

- la Fig. 5 illustra un diagramma di flusso di una prima istruzione condizionale del
25 metodo per controllare l'uso di energie rinnovabili, secondo la prima forma di realizzazione;

la Fig. 6 illustra un insieme di segnali dei parametri elaborati mediante il metodo per controllare l'uso di energie rinnovabili, secondo una prima forma di realizzazione;

- la Fig. 7 illustra un insieme di tabelle della verità implementate nel metodo per
30 controllare l'uso di energie rinnovabili, secondo una prima forma di realizzazione;

la Fig. 8 illustra un diagramma di flusso di una seconda istruzione condizionale del metodo per controllare l'uso di energie rinnovabili, secondo la prima forma di realizzazione;

la Fig. 9 illustra un diagramma di flusso di una terza istruzione condizionale del metodo per controllare l'uso di energie rinnovabili, secondo la prima forma di realizzazione.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DI FORME DI REALIZZAZIONE

[0025] Il gas naturale liquido è un'importante forma di energia. È necessario liquefare il gas estratto. A tal fine, vengono usati diversi compressori. Per azionare i compressori vengono usati treni di potenza ibridi. Un treno di potenza ibrido comprende una turbina a gas e un motore/generatore elettrico. Il motore/generatore elettrico è una macchina che può essere collegata, tra le altre cose, a impianti di energia rinnovabile, per trasformare l'energia prodotta da tali impianti e usare la stessa per azionare compressori, riducendo al minimo, fino a un livello appropriato, l'uso di una turbina a gas, in modo da ridurre gli inquinanti emessi nell'ambiente.

[0026] Secondo un aspetto, il presente oggetto è rivolto a un metodo per controllare l'uso di energia rinnovabile in un treno LNG, in grado di garantire il funzionamento affidabile dell'impianto/treno LNG e evitare un impatto negativo sulla disponibilità del treno quando una fonte rinnovabile è usata per alimentare parzialmente o completamente la potenza richiesta.

[0027] La produzione di LNG, essendo un processo ad intensità energetica, può essere vista come uno stoccaggio di rinnovabili o un pozzo in cui ciascun watt prodotto, a prescindere dal momento (giorno, notte, inverno o estate) e dalla quantità in cui è prodotto, può essere usato per la produzione senza alcuna necessità di stoccaggio fisico o di ridurlo al minimo, e pertanto una RTE molto elevata.

[0028] Facendo riferimento alla figura 1 è illustrata una forma di realizzazione di un impianto di refrigerazione di LNG, ed è indicata con il numero di riferimento 1. L'impianto di refrigerazione di LNG 1 comprende un treno di potenza ibrido 2, un carico 3, collegato al e azionato dal treno di potenza ibrido 2. Un impianto di generazione di potenza PG, che può anche essere la rete elettrica o una qualsiasi consueta struttura di generazione di potenza, e fonti di energia rinnovabili in generale, indicate con il

riferimento PV, sono entrambi collegati al treno di potenza ibrido 2, come meglio specificato nel seguito.

[0029] Con fonti di energia rinnovabili PV si intende un qualsiasi impianto o sistema di energia in grado di produrre energia da fonti rinnovabili, come un impianto fotovoltaico, un impianto a energia eolica, un sistema a energia solare concentrata, un impianto di energia del moto ondoso oceanico o marino, eccetera. Nel seguito, senza limitare l'ambito di protezione della soluzione descritta, con fonti di energia rinnovabili PV si intenderà un impianto fotovoltaico. In qualsiasi caso, possono essere considerati altri impianti di produzione di energia rinnovabile o una combinazione degli stessi.

[0030] Il treno di potenza ibrido 2 comprende una turbina a gas 21, un motore/generatore elettrico 22, un dispositivo a frequenza variabile (VFD) 23, collegato al motore/generatore elettrico 22 e all'impianto di generazione di potenza PG e all'impianto fotovoltaico PV. Il treno di potenza ibrido 2 comprende altresì un albero 24. La turbina a gas 21 e il motore/generatore elettrico 22 sono collegati allo stesso albero 24.

[0031] La potenza al carico 3 può essere derivata dalla turbina a gas 21, dall'impianto di generazione di potenza PG e/o dall'impianto fotovoltaico PV.

[0032] Il carico 3 mostrato nella figura 1 comprende due compressori 31 e 32, per comprimere, nella forma di realizzazione considerata, il gas naturale liquefatto. I compressori 31 e 32 sono collegati meccanicamente all'albero 24. Tuttavia, in altre forme di realizzazione, carichi differenti possono essere azionati dal treno di potenza ibrido 2, come pompe e simili, senza discostarsi dall'ambito di protezione della soluzione descritta.

[0033] In aggiunta, in altre forme di realizzazione, i compressori sono almeno uno o più di due, a seconda dei requisiti dell'impianto.

[0034] La turbina a gas 21 può essere di tipi differenti, come, ad esempio, una turbina a gas a doppio albero o una turbina a gas ad albero singolo. In altre forme di realizzazione, possono essere installati altri tipi di turbine a gas.

[0035] Il motore/generatore elettrico 22 è atto a funzionare come un motore, trasformando pertanto l'energia elettrica derivante dall'impianto di generazione di potenza

PG o dall'impianto fotovoltaico PV in energia meccanica per azionare il carico 3, o per funzionare come un dispositivo ausiliario, per alimentare energia aggiuntiva a quella alimentata dalla turbina a gas 21 richiesta dal carico 3, o come un avviatore, per attivare la turbina a gas 21. Il motore/generatore elettrico 22 può altresì funzionare
 5 come un generatore, iniettando, ad esempio, un'eventuale eccedenza di energia generata dalla turbina a gas 21 nell'impianto di generazione di potenza PG o nella rete elettrica.

[0036] Il dispositivo a frequenza variabile 23 è il dispositivo di azionamento di motore. È solitamente usato in sistemi di azionamento elettromeccanici per controllare la
 10 velocità e la coppia del motore AC variando la frequenza di ingresso e la tensione del motore. In generale, i VDF sono usati per migliorare le prestazioni tramite progressi nei dispositivi di commutazione a semiconduttore, topologie di azionamento, tecniche di simulazione e controllo e hardware e software di controllo.

[0037] Si osserva che il motore/generatore elettrico 22 e il dispositivo a frequenza variabile 23 sono i dispositivi che gestiscono la combinazione di energia per alimentare
 15 il carico 3.

[0038] Come meglio specificato nel seguito, ciascun componente del treno di potenza ibrido 2 è caratterizzato da un appropriato indice di salute HI . In particolare, la turbina a gas 21 è caratterizzata dall'indice di salute HI_{gt} , il motore/generatore elettrico 22 è
 20 caratterizzato dall'indice di salute HI_{em} , il dispositivo a frequenza variabile 23 è caratterizzato dall'indice di salute HI_{vfd} , così come le linee dell'impianto fotovoltaico PV e dell'impianto di generazione di potenza PG possono essere caratterizzate da indici di salute rilevanti, rispettivamente HI_{pv} e HI_{pg} . Tramite l'indice di salute HI_i di ciascun elemento di attrezzatura i è possibile associare uno stato a ciascuna attrezzatura e sottosistemi e/o a una combinazione di attrezzatura e sottosistemi per determi-
 25 nare lo stato della stessa in modo sintetico e determinare la suddivisione di energia più appropriata da produrre.

[0039] Inoltre, poiché il significato dei summenzionati indici di salute HI verrà meglio spiegato nel seguito, essi consentono di verificare lo stato di funzionamento del treno
 30 di potenza ibrido 2 in funzione della singola attrezzatura e come un impianto o parco di impianti. In altri termini, tramite gli indici di salute HI è possibile tenere traccia del

funzionamento attuale dell'attrezzatura del treno di potenza ibrido 2 nonché del treno di potenza ibrido 2 nel complesso. Sintetizzando, l'indice di salute del treno è in funzione degli indici di salute dell'attrezzatura, e può essere matematicamente espresso come

$$HI_{train} = f(H_i). \quad (F1)$$

Nel seguito, verranno forniti dettagli aggiuntivi riguardo a come gli indici di salute dell'attrezzatura verranno calcolati e valutati nonché riguardo al calcolo degli indici di salute del treno di potenza ibrido 2 nel complesso.

[0040] Nel seguito, con attrezzatura si intende qualsiasi parte del treno di potenza ibrido 2, ossia la turbina a gas 21, il motore/generatore elettrico 22 o il dispositivo a frequenza variabile 23, nonché parti relative.

[0041] Facendo ora riferimento alla figura 2, è mostrato come il treno di potenza ibrido 2 è controllato per massimizzare l'uso dell'energia rinnovabile proveniente dall'una o più fonti di energia rinnovabili, ossia, nella forma di realizzazione descritta, l'impianto fotovoltaico PV. In particolare, gli indici di salute H_j di ciascuna attrezzatura j – th sono determinati e introdotti in un sistema di indici di salute da elaborare al fine di ottenere la funzione obiettivo di ridurre al minimo l'uso della turbina a gas 21. Tale funzione obiettivo può essere espressa dalla seguente formula

$$Objective_{function} = \min \|GT_{Load} - (Pmx_{Load} + \Delta_{Load})\| \quad (F2)$$

dove la funzione obiettivo $Objective_{function}$ ha lo scopo di azionare la turbina a gas 21, e il motore/generatore elettrico 22 ha lo scopo di massimizzare l'energia rinnovabile e la massima potenza consentita nel motore/generatore elettrico 22. Inoltre, se tutte le condizioni degli indici di salute HI sono soddisfatte, la massimizzazione dell'impianto fotovoltaico PV deve essere rivolta al carico della turbina a gas 21, in modo tale che il carico della turbina a gas rimanga al di sopra della soglia di trasferimento di "premiscelazione" di combustore Pmx_{Load} , oltre a un determinato margine di carico Δ_{Load} , per gestire qualsiasi potenziale transiente di carico. Quando il carico della turbina a gas 21 raggiunge il carico bersaglio, la funzione obiettivo $Objective_{function}$ ottiene il minimo della funzione. Inoltre, la soglia di trasferimento di premiscelazione Pmx_{Load} della turbina a gas 21 potrebbe essere calcolata dall'interfaccia digitale 211

della turbina a gas 21, che è collegata all'unità di controllo di impianto 4. L'interfaccia digitale 211 è un modello (modello di gemello digitale) del treno di potenza ibrido 2 e dell'ambiente in cui quest'ultimo funziona, in grado di rappresentare le prestazioni del sistema combinato. Il modello di interfaccia digitale 211 può basarsi su intelligenza artificiale, apprendimento automatico, basato sulla fisica o una combinazione di questi.

[0042] Il sistema di combustione di turbina a gas necessita di funzionare in un inviluppo operativo definito per consentire la modalità di combustione premiscelata. In una modalità di combustione premiscelata, il combustibile e l'aria sono miscelati in modo perfetto e il risultato è un'ampia regione di fiamma premiscelata con fiamma a diffusione ridotta. Questo consente una riduzione significativa di formazione di inquinanti come NO_x e CO. L'inviluppo operativo di premiscelazione è limitato a un carico GT medio-alto, pertanto una soglia precisa al di sotto della quale la modalità di premiscelazione non è possibile viene calcolata mediante il modello di motore per fornire informazioni per controllare il carico minimo al quale la turbina può mantenere la modalità di funzionamento di premiscelazione.

[0043] Anche il margine di carico Δ_{Load} è mantenuto al di sopra della soglia di trasferimento di premiscelazione per assicurarsi di non oltrepassare la soglia ed entrare in modalità di funzionamento a fiamma di diffusione che produce un contenuto elevato di inquinanti.

[0044] In alcune forme di realizzazione, l'elaborazione dell'indice di salute potrebbe essere effettuata remotamente o in loco ("Edge") o una combinazione di entrambi.

[0045] In generale, l'unità di controllo di impianto 4 (che può essere o può essere parte di un dispositivo di controllo locale di un sottosistema) è programmata o configurata per ottenere la funzione obiettivo sulla base di alcuni vincoli basati sulle prestazioni dell'impianto da controllare, ossia, nella presente forma di realizzazione, il treno di potenza ibrido 2. Nella forma di realizzazione illustrata nella figura 2, i vincoli sono collegati all'energia massima che un motore/generatore elettrico 22 può generare, e all'intervallo di potenza al quale la turbina a gas 21 può lavorare, ossia

$$\begin{cases} EM_{maxPower} = f(x_i \dots) \sim Const \\ GT_{MaxPower} = Output \\ GT_{MinPower} = Output \end{cases} \quad (F3)$$

In particolare, $EM_{maxPower}$ è la funzione di potenza massima del motore/generatore elettrico 22 in uno stato di salute. Si noti che alcune condizioni di disturbo potrebbero richiedere una riduzione del carico del motore; $GT_{MaxPower}$ è la potenza massima della funzione di temperatura ambiente, degradazione del motore, perdite di ingresso e scarico, eccetera. L'unità di controllo di impianto 4 calcola la capacità di carico rimanente per il motore da comunicare al sistema di controllo di processo; e $GT_{MinPower}$ è la potenza minima della turbina a gas 21, che è in funzione di temperatura ambiente, degradazione del motore, perdite di ingresso e scarico, temperatura di fiamma, eccetera. In questo caso, l'unità di controllo di impianto 4 calcola il margine rimanente al carico minimo per mantenere la modalità di combustione in premiscelazione e ridurre al minimo l'emissione di NO_x .

[0046] Come summenzionato, l'unità di controllo di impianto 4 del treno di potenza ibrido 2 è programmata per controllare il funzionamento del treno di potenza ibrido 2 in base a un programma per computer specifico, come descritto in maggior dettaglio nel seguito. L'unità di controllo di impianto 4 è altresì collegata operativamente alla turbina a gas 21, e a qualsiasi parte o attrezzatura relativa. In modo analogo, l'unità di controllo di impianto 4 è collegata operativamente al motore/generatore elettrico 22, nonché al dispositivo a frequenza variabile 23. Anche in questo caso, l'unità di controllo di impianto 4 è programmata per controllare e verificare parti del motore/generatore elettrico 22 e del dispositivo a frequenza variabile 23.

[0047] Come summenzionato, l'unità di controllo di impianto 4 è programmata per eseguire un programma per computer per gestire una fonte esterna fluttuante (ossia le fonti di energia rinnovabili, come l'impianto fotovoltaico PV), per ottimizzare la produzione di energia della turbina a gas 21 e la disponibilità e affidabilità di altre attrezzature. Inoltre, poiché l'impianto di refrigerazione di LNG 1 è tipicamente ad intensità energetica, il programma riduce la necessità di stoccaggio poiché la potenza è costantemente necessaria (efficienza di stoccaggio fotovoltaico aumentata, eccetera). L'unità di controllo di impianto 4 può essere collegata remotamente o cablata ai treni di potenza ibridi 2 dell'impianto di refrigerazione di LNG 1.

[0048] L'unità di controllo di impianto 4 può essere collegata a uno o più treni di potenza ibridi 2, ossia a un parco di treni di potenza ibridi 2. A tale riguardo, l'unità di controllo 4 può ottimizzare il funzionamento dell'intero parco.

[0049] In alcune forme di realizzazione, e in particolare facendo riferimento alla figura 3, l'unità di controllo di impianto 4 può includere: un processore 41, un bus 42, al quale è collegato il processore 41, una base di dati 43, collegata al bus 42, in modo da essere accessibile e controllata dal processore 41, una memoria leggibile da computer
 5 44, anch'essa collegata al bus 42, in modo da essere accessibile e controllata dal processore 41, un modulo di ricetrasmissione 45, collegato al bus 42, per ricevere e trasmettere dati e segnali dal/al treno di potenza ibrido 2.

[0050] Come summenzionato, l'unità di controllo impianto 4 esegue un programma per controllare il treno di potenza ibrido 2, al fine di ottimizzare la produzione di energia, l'energia assorbita dalle fonti rinnovabili, ossia, nella forma di realizzazione descritta, l'impianto fotovoltaico PV, e pertanto per ridurre l'emissione di NO_x e CO_2 .
 10

[0051] Facendo riferimento alla figura 4, il metodo generale su cui si basa il programma per controllare l'impianto LNG 1 eseguito dall'unità di controllo di impianto 4 è illustrato schematicamente.

15 [0052] Specificamente, la figura 4 illustra un diagramma di flusso. Il metodo 5 comprende (si vedano le figure 4 e 5) una fase di rilevamento 51, in cui le condizioni in tempo reale del treno di potenza ibrido 2 vengono verificate. In particolare, in questa fase preliminare, vengono determinati il carico della turbina a gas 21 e il carico parziale del motore/generatore elettrico 22.

20 [0053] Specificamente, l'unità di controllo di impianto 4, come summenzionato, è collegata alla turbina a gas 21, al motore/generatore elettrico 22 e al dispositivo a frequenza variabile 23. Da ciascuna di queste attrezzature, l'unità di controllo di impianto 4 riceve uno o più parametri di ingresso P_{ij} , in cui l'indice i contrassegna una o più attrezzature del treno di potenza ibrido 2, mentre l'indice j contrassegna i parametri.
 25 Ciascun elemento di attrezzatura potrebbe essere verificato tramite parametri differenti. Nella forma di realizzazione descritta, le attrezzature verificate sono il motore/generatore elettrico 22 e il dispositivo a frequenza variabile 23. Tuttavia, attrezzatura aggiuntiva o differente può essere considerata per questa fase iniziale di verifica.

30 [0054] I parametri P_{ij} sono segnali che rappresentano le prestazioni dell'attrezzatura. Vi sarà un numero totale di parametri $j \times i$, ossia segnali j moltiplicati per attrezzatura

i. I segnali di parametro consentono di determinare il grado di capacità di funzionamento dell'attrezzatura. Inoltre, il/la loro valore, forma o spettro è/sono influenzati dalla necessità di manutenzione di una qualsiasi attrezzatura specifica.

- [0055] Per ciascun segnale di parametro P_{ij} , viene assegnata una funzione membro parametrica M_{ij} (fase 5211, facente riferimento al motore/generatore elettrico 22), che rappresenta la funzione membro j dell'attrezzatura i . Ciascuna funzione membro M_{ij} può avere forme o sagome differenti, come si può altresì notare in maggior dettaglio nella figura 6. La funzione membro parametrica M_{ij} è una funzione di stato logica, che può supporre, nella presente forma di realizzazione, tre possibili valori o stati di qualifica, in funzione del valore di ciascun segnale di parametro P_{ij} , ossia basso (attrezzatura oggetto di analisi non funzionante in una condizione idonea), medio (attrezzatura oggetto di analisi ancora funzionante, sebbene non in condizioni ottimali), e alto (attrezzatura funzionante in modo corretto). In altre forme di realizzazione, le funzioni membro M_{ij} possono supporre un numero differente di stati di qualifica.
- [0056] Facendo continuamente riferimento alla figura 5, e considerando altresì la figura 7, una volta che la funzione membro parametrica M_{ij} è associata ai segnali di parametro P_{ij} ricevuti, per ciascun elemento di attrezzatura i , i risultati delle funzioni membro parametriche M_{ij} vengono combinati (5221) tramite tabelle della verità T_i per ottenere un insieme di indice di salute di attrezzatura HI_{ij} per ciascuna attrezzatura $i - th$, da cui una funzione membro di attrezzatura M_{em} (si veda la fase 5231).

- [0057] Pertanto, facendo riferimento al motore/generatore elettrico 21, dai parametri $P_{em,j}$, si ottengono le funzioni membro $M_{em,j}$, la tabella della verità T_{em} applica regole di combinazione alle funzioni membro $M_{em,j}$, per calcolare gli indici di salute $HI_{em,j}$ del motore/generatore elettrico 21 per ottenere la funzione membro M_{em} del motore/generatore elettrico 22 del treno di potenza ibrido 2.

- [0058] In modo analogo, facendo riferimento al motore/generatore elettrico 22, dai parametri $P_{vfd,j}$, si ottengono le funzioni membro $M_{vfd,j}$, la tabella della verità T_{vfd} applica regole di combinazione per determinare gli indici di salute $HI_{vfd,j}$ e le funzioni membro rilevanti $M_{vfd,j}$, in modo da calcolare la funzione membro M_{vfd} dell'azionamento a frequenza variabile 23 del treno di potenza ibrido 2. La figura 7 illustra un

esempio della linea di codice per mezzo della quale gli stadi di alcune attrezzature sono combinati in modo idoneo (si vedano le fasi 5212, 5222, 5223).

[0059] Il sottoprocesso di istruzione condizionale 52, ossia la funzione membro di ciascuna attrezzatura, ossia M_{em} e M_{vfd} può supporre tre uscite differenti, ossia tre stati “fuzzy” di qualifica differenti, indicati nella presente come “Scadente”, “Medio” o “Buono”. Più in particolare, la prima fase condizionale 52 comprende una sottofase di combinazione 524 per ottenere una funzione membro combinata M_{em+vfd} , che può ancora supporre tre uscite o stati “fuzzy” di qualifica differenti, ancora indicati nella presente come “Scadente”, “Medio” o “Buono”.

10 [0060] Nel caso in cui la funzione membro combinata M_{em+vfd} supponga il valore Scadente, il motore/generatore elettrico 22 e/o il dispositivo a frequenza variabile 23 non stanno quindi funzionando in buone condizioni tecniche. Un primo insieme di azioni operative vengono eseguite (fase 53) dall’unità di controllo di impianto 4. In particolare, il carico della turbina a gas 21 viene aumentato, il motore/generatore elettrico viene alleggerito e l’intero carico di processo viene ridotto.

[0061] Nel caso in cui la funzione membro M_{em+vfd} supponga il valore Medio, quindi, sebbene il motore/generatore elettrico 22 e il dispositivo a frequenza variabile 23 possano ancora funzionare senza influenzare eccessivamente l’inquinamento o in qualunque caso per non compromettere il funzionamento del treno di potenza ibrido 2, (fase 54) viene cambiata la suddivisione di carico tra la turbina a gas 21 e il motore/generatore elettrico 22. In alcune circostanze, il carico di processo può altresì essere ridotto. In questo caso, viene altresì comunicato dall’unità di controllo di impianto 4 il processo di stato per regolare il carico di treno complessivo in base alla capacità di carico della turbina a gas 21-del motore/generatore elettrico 22.

25 [0062] Infine, nel caso in cui la funzione membro M_{em+vfd} supponga il valore Buono, il motore/generatore elettrico 22 e il dispositivo a frequenza variabile 23 stanno funzionando in condizioni ottimali o idonee.

[0063] In questo caso, viene eseguita una seconda istruzione condizionale (fase 55) per determinare gli indici di salute $HI_{pv,j}$ della fonte fotovoltaica PV, o in generale l’indice di salute di qualsiasi fonte di energia rinnovabile. In particolare, facendo riferimento alla figura 8, sono mostrate le sottofasi del sottoprocesso di istruzione

condizionale 55. Può esservi più di un parametro $P_{pv,j}$ (si veda la sottofase 551), che viene contato dall'indice j . Ciascun parametro $P_{pv,j}$ ha un segnale specifico e una tabella della verità T_{pv} , riferiti all'attrezzatura in questione, ossia la fonte fotovoltaica PV. La tabella della verità T_{pv} consente l'applicazione di regole di combinazione idonee tra i segnali di parametro $P_{pv,j}$ dell'impianto fotovoltaico PV, in modo da calcolare l'indice di salute HI_{pv} dello stesso e determinare la funzione membro M_{pv} della fonte fotovoltaica PV, che può supporre tre stati di qualifica, Scadente, Medio o Buono.

[0064] Nel caso in cui la funzione membro M_{pv} della fonte fotovoltaica PV supponga il valore Scadente, la fonte fotovoltaica PV non funziona in modo idoneo, quindi l'unità di generazione di potenza PG viene verificata eseguendo un terzo sottoprocesso di istruzione condizionale 56, che è altresì mostrato nella figura 9. La verifica operativa dell'unità di generazione di potenza PG viene eseguita, da un punto di vista procedurale, in modo analogo a quello dell'impianto fotovoltaico 55.

[0065] La figura 9 mostra le sottofasi della terza istruzione condizionale 56. Anche in questo caso, può esservi più di un parametro $P_{pg,j}$ (si veda la sottofase 561), analogamente all'impianto fotovoltaico PV, che viene contato dall'indice j . Ciascun parametro $P_{pg,j}$ è associato a una funzione membro parametrica $M_{pg,j}$ (fase 562), ha un segnale specifico e una tabella della verità T_{pg} (fase 563), riferiti all'attrezzatura in questione, ossia l'impianto di generazione di potenza PG. La tabella della verità T_{pg} consente l'applicazione di regole di combinazione idonee tra i segnali di parametro $P_{pg,j}$ dell'impianto di generazione di potenza PG, per calcolare l'indice di salute $HI_{pg,j}$ per ciascun segnale di parametro $P_{pg,j}$, e quindi la funzione membro M_{pg} dell'impianto di generazione di potenza PG, che può supporre tre stati di qualifica, Scadente, Medio o Buono.

[0066] Se lo stato di qualifica della funzione membro M_{pg} è Scadente, viene quindi cambiata la suddivisione di carico 3 (proseguire alla fase 53), pertanto il carico della turbina a gas 21 viene aumentato, il motore/generatore elettrico viene alleggerito e l'intero carico di processo viene ridotto.

[0067] Se il valore della funzione membro M_{pg} è Medio, la fase 54 viene quindi eseguita dall'unità di controllo di impianto 4, ossia, viene cambiata la suddivisione di

carico tra la turbina a gas 21 e il motore/generatore elettrico 22. In alcune circostanze, il carico di processo può altresì essere ridotto. In questo caso, viene altresì comunicato dall'unità di controllo di impianto 4 il processo di stato per regolare il carico di treno complessivo in base alla capacità di carico della turbina a gas 21-del motore/generatore elettrico 22.

[0068] Infine, se il valore della funzione membro M_{pg} è Buono, la suddivisione di carico viene quindi mantenuta come da condizioni iniziali (fase 57).

[0069] Ritornando alla fase 55, ossia la seconda istruzione condizionale 5, se la funzione membro M_{pv} dell'impianto fotovoltaico PV suppone il valore Medio, viene quindi aumentato il carico del motore/generatore elettrico 22 per funzionare come dispositivo ausiliario, fino a una soglia preimpostabile consentita (fase 58).

[0070] Infine, se la funzione membro M_{pv} dell'impianto fotovoltaico PV suppone il valore Buono, si ottiene quindi una ridisposizione o una suddivisione differente (fase 59) della potenza generata dal motore/generatore elettrico 22 e dalla turbina a gas 21. In particolare, il motore/generatore elettrico 22 viene fatto funzionare per massimizzare il carico come dispositivo ausiliario (fase 591), ossia il funzionamento del motore/generatore elettrico 22 e il carico della turbina a gas 21 viene diminuito (fase 592) fino al valore della soglia di trasferimento di "premiscelazione" Pmx_{Load} . Inoltre, si ottiene la funzione obiettivo di ridurre al minimo l'uso della turbina a gas 21. Tale funzione obiettivo può essere espressa dalla formula (F2) summenzionata.

[0071] Un vantaggio della soluzione descritta è quello di ottimizzare l'efficienza del treno quando si prendono in considerazione l'intermittenza e la ciclicità tipiche dell'energia rinnovabile.

[0072] Un vantaggio aggiuntivo della soluzione descritta è quello di assicurare che la disponibilità dei treni LNG sia ottimizzata, analizzando la salute del motore/generatore elettrico, del dispositivo a frequenza variabile e della turbina a gas, e agendo sul bilanciamento di potenza per ridurre i rischi di perdita di produzione.

[0073] In aggiunta, tramite la soluzione descritta è possibile ottimizzare l'emissione di inquinanti, assicurando che la produzione di CO₂ (prodotta a livello di sistema più Carburante) e di NO_x e CO (prodotti a livello di combustione) venga ridotta al minimo.

Questo si ottiene altresì miscelando tra fonti rinnovabili e convenzionali.

5 [0074] In aggiunta, la soluzione descritta consente di ottimizzare il costo complessivo della produzione di gas naturale liquefatto, prendendo in considerazione il costo del carburante e il costo dell'energia rinnovabile. Questo si ottiene altresì riconoscendo lo stato di salute e l'invecchiamento dell'attrezzatura per una programmazione della manutenzione e un'ottimizzazione della disponibilità dell'impianto. L'attrezzatura oggetto di analisi include generatore, motori, dispositivi a frequenza variabile (vale a dire, scarico parziale, strumentazione dedicata installata). In particolare, il monitoraggio e l'analisi dei dati dell'attrezzatura (in tempo reale o postelaborazione) consentono di riconoscere e ottimizzare le condizioni operative che possono influenzare la produzione.

[0075] Riconoscere gli stati di salute del VFD e del motore per la programmazione della manutenzione e per ottimizzare la disponibilità dell'impianto.

15 [0076] Ottimizzazione del profilo di funzionamento della turbina a gas per ridurre al minimo gli inquinanti in generale, non limitata alla CO₂ ma tenendo in considerazione anche i NO_x.

[0077] Un vantaggio aggiuntivo della presente descrizione è quello di ridurre l'intensità di carbonio di un impianto LNG dal 10% al 15% senza alcun impatto su produzione, disponibilità e affidabilità, solamente mediante l'ottimizzazione del funzionamento dei treni, e aumentando la flessibilità della gestione delle parti a gas caldo.

20 [0078] Un altro vantaggio del metodo descritto è il fatto di rendere facoltativo lo stoccaggio di potenza rinnovabile (il processo LNG consuma l'energia prodotta), massimizzando la RTE della rinnovabile, tramite un controllo avanzato del treno LNG, combinato all'architettura del treno stesso, in modo da ottimizzare sostanzialmente l'RTE dell'utilizzo della rinnovabile e il CAPEX della fonte rinnovabile.

25 [0079] Sebbene aspetti dell'invenzione siano stati descritti in termini di varie forme di realizzazione specifiche, risulterà evidente ai tecnici del ramo che numerose modifiche, cambiamenti e omissioni sono possibili senza discostarsi dallo spirito e dall'ambito delle rivendicazioni. In aggiunta, salvo diversamente specificato nella presente, l'ordine o la sequenza di una qualsiasi fase di processo o metodo può essere variata/o

o risequenziata/o secondo forme di realizzazione alternative.

- [0080]** È stato fatto riferimento in dettaglio alle forme di realizzazione della descrizione, di cui uno o più esempi sono illustrati nei disegni. Ciascun esempio è fornito a titolo esplicativo della descrizione, non limitativo della descrizione. Di fatto, risulterà
- 5 evidente ai tecnici del ramo che varie modifiche e variazioni possono essere apportate alla presente descrizione senza discostarsi dall'ambito o dallo spirito della descrizione. Il riferimento in tutta la descrizione a "una forma di realizzazione" o "alcune forme di realizzazione" indica che l'aspetto, la struttura o la caratteristica particolari descritti in
- 10 correlazione a una forma di realizzazione sono inclusi in almeno una forma di realizzazione dell'oggetto descritto. Pertanto, l'occorrenza dell'espressione "in una forma di realizzazione" o "in alcune forme di realizzazione" in vari punti in tutta la descrizione non fa necessariamente riferimento alla/e stessa/e forma/e di realizzazione. Inoltre, i particolari aspetti, strutture o caratteristiche possono essere combinati in qualsiasi modo idoneo in una o più forme di realizzazione.
- 15 **[0081]** Quando elementi di varie forme di realizzazione vengono introdotti, gli articoli "un", "uno", "una", "il", "lo", "la" e "detto/a" intendono indicare che vi sono uno o più degli elementi. I termini "comprendente/i", "includente/i" e "avente/i" intendono essere inclusivi e indicano che vi possono essere elementi aggiuntivi diversi dagli elementi elencati.
- 20 Barzanò & Zanardo Roma S.p.A.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo (5) per controllare l'energia rinnovabile assorbita da un treno di potenza ibrido (2) per azionare un carico (3), in cui il treno di potenza ibrido (2) comprende una o più attrezzature (21, 22, 23), comprendenti una turbina a gas (21) e un motore/generatore elettrico (22), in cui il motore/generatore elettrico (22) è collegato a un impianto di generazione di potenza (PG) e a una fonte di energia rinnovabile (PV), in cui il metodo (5) comprende le fasi di:
 - rilevare (51) l'uno o più parametri di ingresso (P_{ij}) di ciascuna attrezzatura (21, 22, 23) per determinare la condizione iniziale di almeno una delle attrezzature;
 - applicare una prima istruzione condizionale (52), in cui la prima istruzione condizionale (52) determina una funzione membro combinata (M_{em+vf_d}), di almeno una o più attrezzature (21, 22, 23), avente due o più stati di qualifica come uscita, in modo tale che
 - se le funzioni membro combinate (M_{em+vf_d}) dell'attrezzatura hanno uno stato di qualifica tale per cui l'attrezzatura verificata (21, 22) funziona correttamente, venga quindi eseguita la fase di applicare una seconda istruzione condizionale (55) alla fonte di energia rinnovabile (PV), in modo da determinare le funzioni membro (M_{pv}) della fonte di energia rinnovabile (PV) aventi due o più stati di qualifica come uscita, in modo tale che
 - se le funzioni membro (M_{pv}) della fonte di energia rinnovabile (PV) hanno uno stato di qualifica tale per cui la fonte di energia rinnovabile (PV) non funziona correttamente, venga quindi eseguita la fase di applicare (56) una terza istruzione condizionale (56) all'impianto di generazione di potenza (PG), in modo da determinare le funzioni membro (M_{pg}) dell'impianto di generazione di potenza (PG) aventi due o più stati di qualifica come uscita, in modo tale che
 - se le funzioni membro (M_{pg}) dell'impianto di generazione di potenza (PG) hanno uno stato di qualifica tale per cui l'impianto di generazione di potenza (PG) non funziona correttamente, venga quindi cambiata la suddivisione di carico tra la turbina a gas (21) e il motore/generatore elettrico (22);

se le funzioni membro (M_{pv}) della fonte di energia rinnovabile (PV) hanno uno stato di qualifica tale per cui la fonte di energia rinnovabile (PV) funziona in modo corretto, la potenza generata dalla turbina a gas (21) e l'energia assorbita dalla fonte di energia rinnovabile (PV) vengono quindi determinate (59) secondo una funzione obiettivo;

diversamente, se le funzioni membro combinate ($M_{em+vf d}$) hanno uno stato di qualifica tale per cui l'attrezzatura (21, 22) verificata non funziona correttamente, si esegue quindi (53, 54) la suddivisione di carico tra la turbina a gas (21) e il motore/generatore elettrico (22).

2. Metodo (5) secondo la rivendicazione precedente,

in cui l'attrezzatura comprende un dispositivo di rilevamento variabile (22) collegato al motore/generatore elettrico (22), e a un impianto di generazione di potenza (PG) e a una fonte di energia rinnovabile (PV),

in cui nella fase di rilevare (51) la condizione iniziale vengono rilevate quelle del motore/generatore elettrico (21) e del dispositivo di rilevamento variabile (22), e in cui la prima istruzione condizionale (52) comprende le sottofasi di:

associare una funzione membro parametrica ($M_{em,j}$) a ciascun parametro di ingresso ($P_{em,j}$) del motore/generatore elettrico (22);

combinare le funzioni membro parametriche ($M_{em,j}$) del motore/generatore elettrico (22) tramite una tabella della verità (T_{em}) per ottenere indici di salute ($HI_{em,j}$) e quindi una funzione membro di attrezzatura (M_{em});

associare una funzione membro parametrica ($M_{vf d,j}$) a ciascun parametro di ingresso ($P_{vf d,j}$) del dispositivo a frequenza variabile (23);

combinare le funzioni membro parametriche ($M_{vf d,j}$) del dispositivo a frequenza variabile (23) tramite una tabella della verità ($T_{vf d}$) per ottenere indici di salute ($HI_{vf d,j}$) e quindi una funzione membro di attrezzatura ($M_{vf d}$); e

combinare (524) la funzione membro di ciascuna attrezzatura (M_{em} , $M_{vf d}$) per ottenere una funzione membro combinata ($M_{em+vf d}$) avente due o più stati di qualifica come uscita.

3. Metodo (5) secondo la rivendicazione precedente,

in cui la funzione membro combinata (M_{em+vf_d}) può supporre un primo stato di qualifica (Scadente), un secondo stato di qualifica (Medio) e un terzo stato di qualifica (Buono),

in cui se la funzione membro combinata (M_{em+vf_d}) suppone

- il primo stato di qualifica (Scadente), viene quindi eseguita la fase di aumentare il carico della turbina a gas (21) e alleggerire il motore/generatore elettrico (53);

- il secondo stato di qualifica (Medio), viene quindi eseguita la fase di cambiare (54) la suddivisione di carico tra la turbina a gas (21) e il motore/generatore elettrico (22);

- il terzo stato di qualifica (Buono), viene quindi applicata la seconda istruzione condizionale (55) alla fonte di energia rinnovabile (PV).

4. Metodo (5) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti,

in cui la seconda istruzione condizionale (55) comprende le sottofasi di:

associare una funzione membro parametrica ($M_{pv,j}$) a ciascun parametro di ingresso ($P_{em,j}$) della fonte di energia rinnovabile (PV);

combinare le funzioni membro parametriche ($M_{pv,j}$) della fonte di energia rinnovabile (PV) tramite una tabella della verità (T_{ev}) per ottenere indici di salute ($HI_{ev,j}$) e quindi per ottenere una funzione membro (M_{ev}) della fonte di energia rinnovabile (PV);

in cui la funzione membro (M_{pv}) della fonte di energia rinnovabile (PV) può supporre un primo stato di qualifica (Scadente), un secondo stato di qualifica (Medio) e un terzo stato di qualifica (Buono),

in cui se la funzione membro (M_{pv}) della fonte di energia rinnovabile (PV) suppone

- il primo stato di qualifica (Scadente), viene quindi applicata (56) la terza istruzione condizionale (56) all'impianto di generazione di potenza (PG);

- il secondo stato di qualifica (Medio), viene eseguita la fase di cambiare (54) la suddivisione di carico tra la turbina a gas (21) e il

motore/generatore elettrico (22);

- il terzo stato di qualifica (Buono), vengono quindi determinate (59) secondo una funzione obiettivo la potenza generata dalla turbina a gas (21) e l'energia assorbita dalla fonte di energia rinnovabile (PV).

5

5. Metodo (5) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la terza istruzione condizionale (56) comprende le sottofasi di:

associare una funzione membro parametrica ($M_{pg,j}$) a ciascun parametro di ingresso ($P_{pg,j}$) dell'impianto di generazione di potenza (PG);

10

combinare le funzioni membro parametriche ($M_{pg,j}$) dell'impianto di generazione di potenza (PG) tramite una tabella della verità (T_{pg}) per ottenere indici di salute ($HI_{pg,j}$) e quindi per ottenere una funzione membro (M_{pg}) dell'impianto di generazione di potenza (PG);

in cui la funzione membro (M_{pg}) dell'impianto di generazione di potenza (PG) può supporre un primo stato di qualifica (Scadente), un secondo stato di qualifica (Medio) e un terzo stato di qualifica (Buono),

in cui se la funzione membro (M_{pv}) della fonte di energia rinnovabile (PV) suppone

- il primo stato di qualifica (Scadente), viene quindi eseguita la fase di aumentare il carico della turbina a gas (21) e alleggerire il motore/generatore elettrico (53);

- il secondo stato di qualifica (Medio), viene eseguita la fase di cambiare (54) la suddivisione di carico tra la turbina a gas (21) e il motore/generatore elettrico (22);

- il terzo stato di qualifica (Buono), si mantiene (57) quindi la suddivisione di carico.

6. Metodo (5) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la funzione obiettivo è quella di ridurre al minimo l'uso della turbina a gas (21), in modo tale che il carico della turbina a gas (21) rimanga al di sopra della soglia di trasferimento di combustore Pmx_{Load} , oltre a un margine di carico Δ_{Load} , per gestire potenziali transienti di carico.

7. Metodo (5) secondo la rivendicazione precedente, in cui la fase di determinare (59) la potenza generata dalla turbina a gas (21) e l'energia assorbita dalla fonte di energia rinnovabile (PV) secondo una funzione obiettivo, comprende le sottofasi di:

- far funzionare (591) per massimizzare il funzionamento del motore/generatore elettrico (22) come dispositivo ausiliario, e
- diminuire (592) il carico della turbina a gas (21) al valore della soglia di trasferimento Pmx_{Load} .

8. Metodo (5) secondo la rivendicazione precedente, in cui i parametri di ingresso (P_{ij}) sono segnali elettrici analogici o digitali.

9. Impianto di potenza (1) comprendente:

un treno di potenza ibrido (2) avente:

- un albero passante (24),
- una turbina a gas (21), collegata meccanicamente all'albero (24);
- un motore/generatore elettrico (22), collegato meccanicamente all'albero (24);
- un dispositivo a frequenza variabile (23), collegato a un motore/generatore elettrico (22), e a un impianto di generazione di potenza (PG) e a una fonte di energia rinnovabile (PV), in cui il dispositivo a frequenza variabile (23) è in grado di funzionare per consentire al motore/generatore elettrico (22) di trasformare l'energia dall'impianto di generazione di potenza (PG) e alla fonte di energia rinnovabile (PV) di azionare il carico (3) o di assistere il funzionamento della turbina a gas (21); e
- un'unità di controllo di impianto (4) collegata operativamente alla turbina a gas (21), al motore/generatore elettrico (22) e al dispositivo a frequenza variabile (23),
- in cui l'unità di controllo di impianto (4) è configurata per controllare il treno di potenza ibrido (2) per massimizzare l'energia usata proveniente dalla fonte di energia rinnovabile (PV) massimizzando il carico di azionamento del motore/generatore elettrico (22), e
- in cui il carico della turbina a gas (21) è mantenuto al di sopra della soglia di trasferimento di premiscelazione di combustore (Pmx_{Load}); e
- un carico (3) collegato meccanicamente all'albero (24).

10. Impianto di potenza (1) secondo la rivendicazione precedente, in cui il carico della turbina a gas (21) è mantenuto al di sopra della soglia di trasferimento di premiscelazione di combustore (Pmx_{Load}) oltre a un determinato margine di carico
5 (Δ_{Load}).

11. Impianto di potenza (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 9-10, in cui l'unità di controllo di impianto (4) comprende:
un processore (41);
10 un bus (42), al quale è collegato il processore (41);
una base di dati (43), collegata al bus (42), in modo da essere accessibile e controllata dal processore (41);
una memoria leggibile da computer (44), collegata al bus (42), in modo da essere accessibile e controllata dal processore (41), un modulo di
15 ricetrasmisione (45), collegato al bus (42), per ricevere e trasmettere dati e segnali dal/al treno di potenza ibrido (2).

12. Impianto di potenza (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 9-11, in cui la fonte di energia rinnovabile è un impianto fotovoltaico (PV) e/o un impianto
20 eolico e/o sistemi a energia solare concentrata.

13. Impianto di potenza (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 9-12, in cui il carico comprende uno o più compressori centrifughi (31, 32) per refrigerare il gas naturale.
25

Barzanò & Zanardo Roma S.p.A.

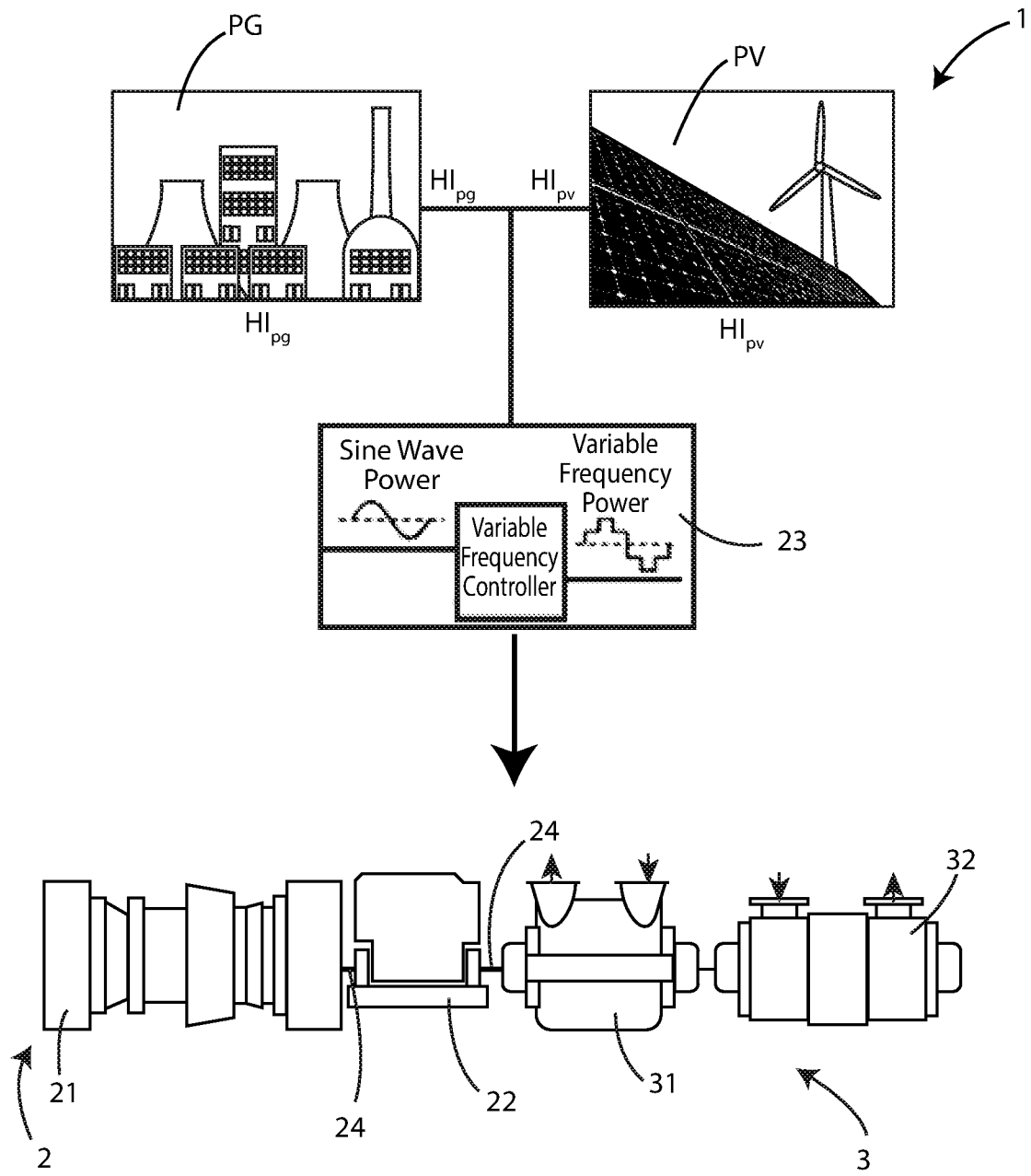


Fig. 1

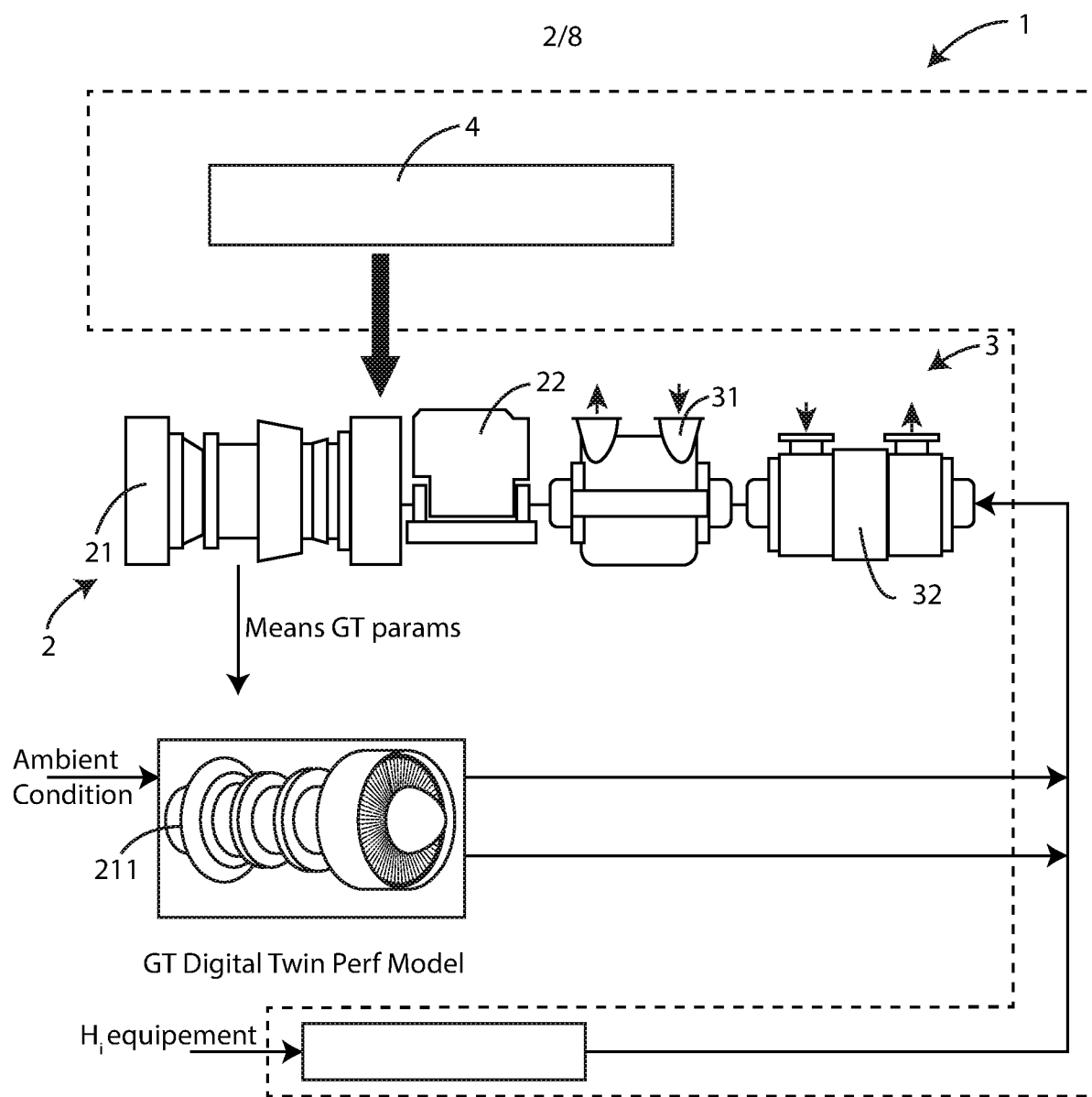


Fig. 2

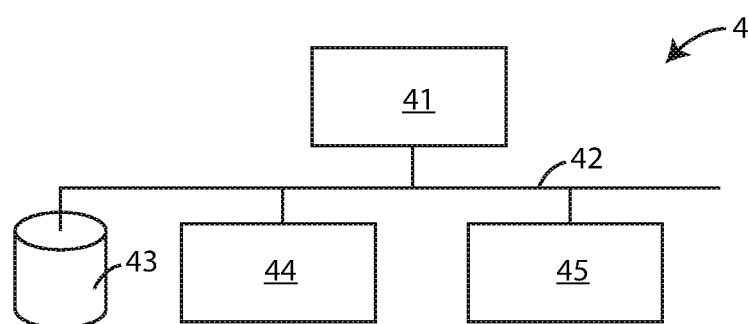
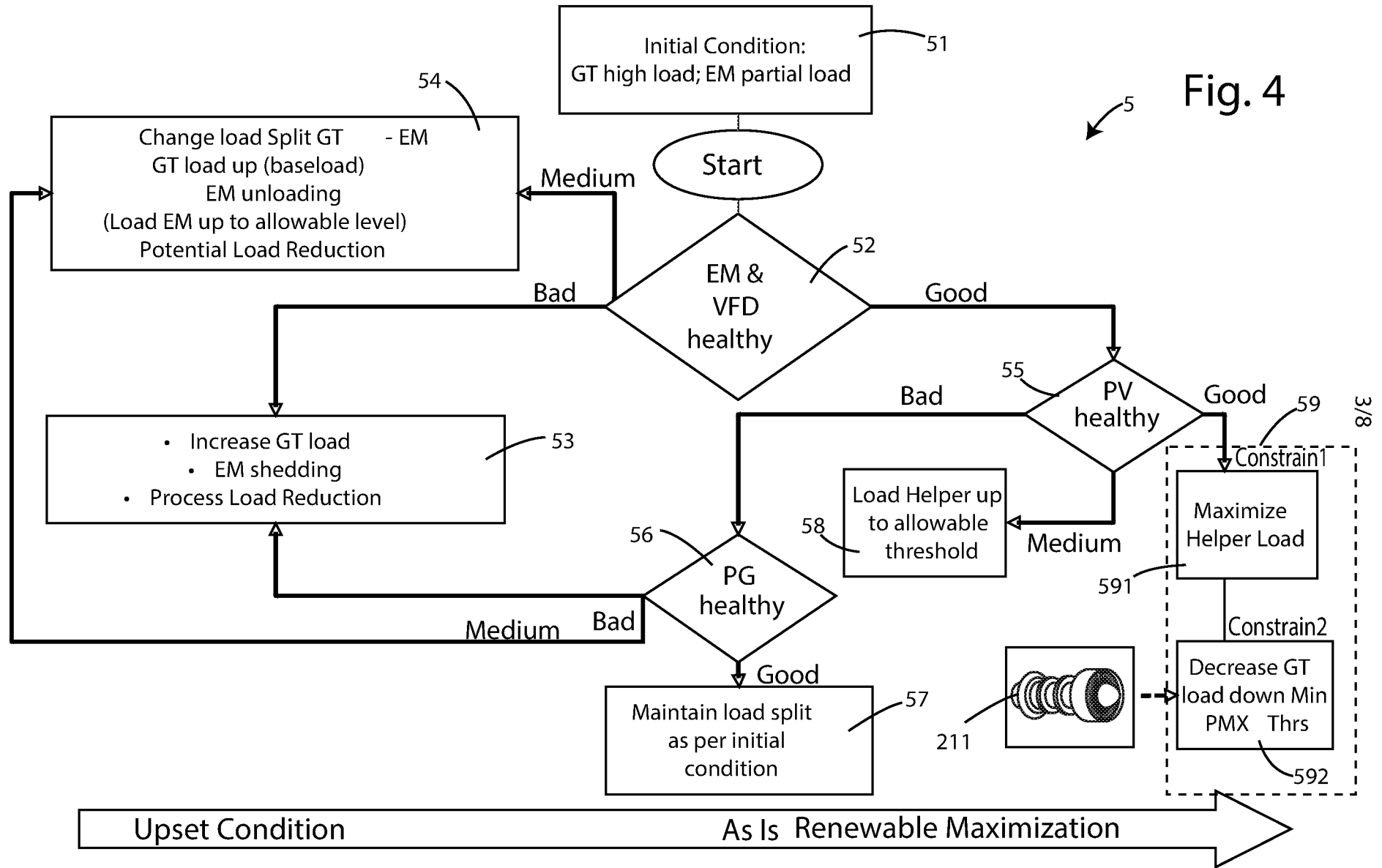


Fig. 3

Fig. 4



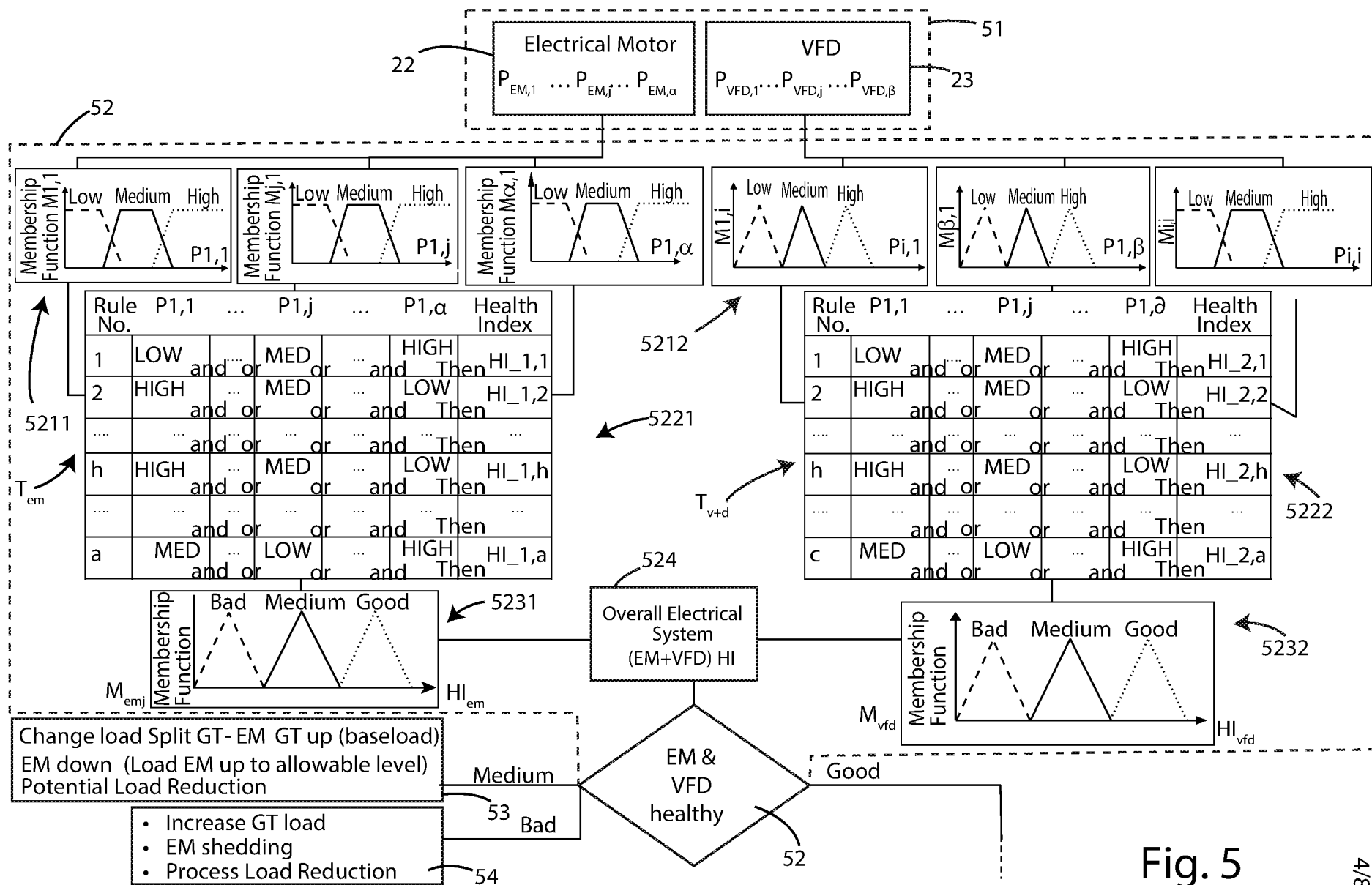


Fig. 5

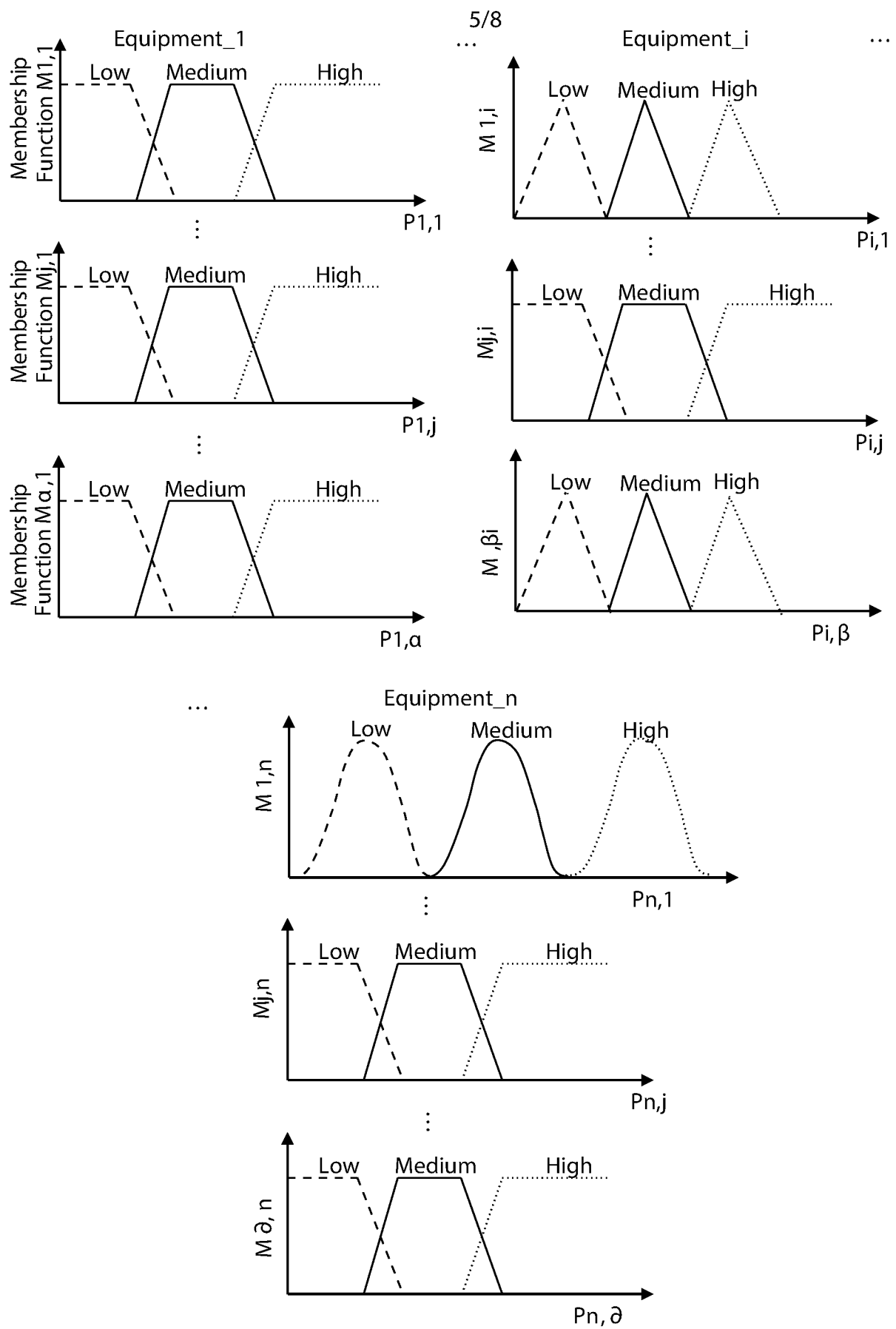


Fig. 6

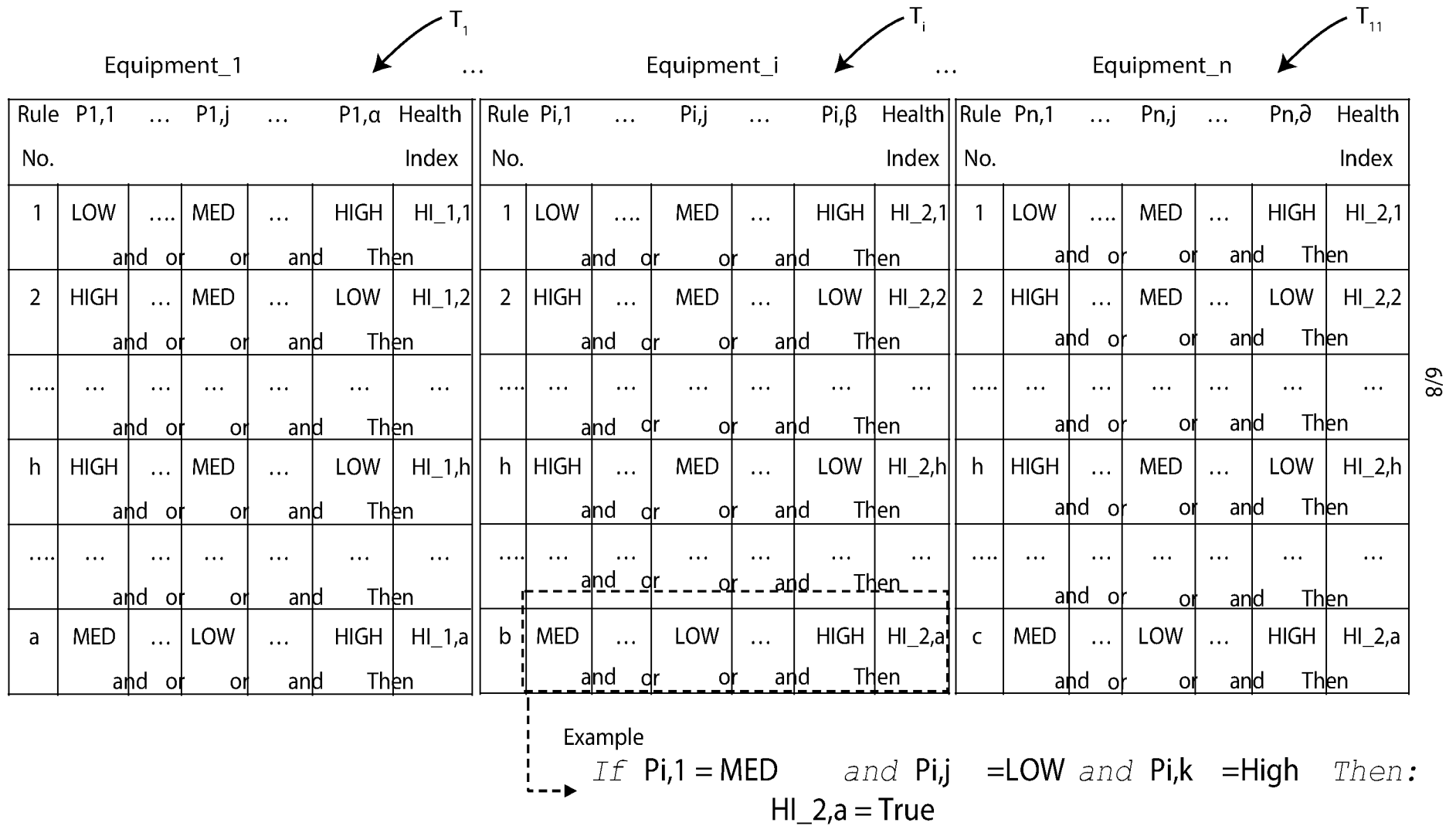


Fig. 7

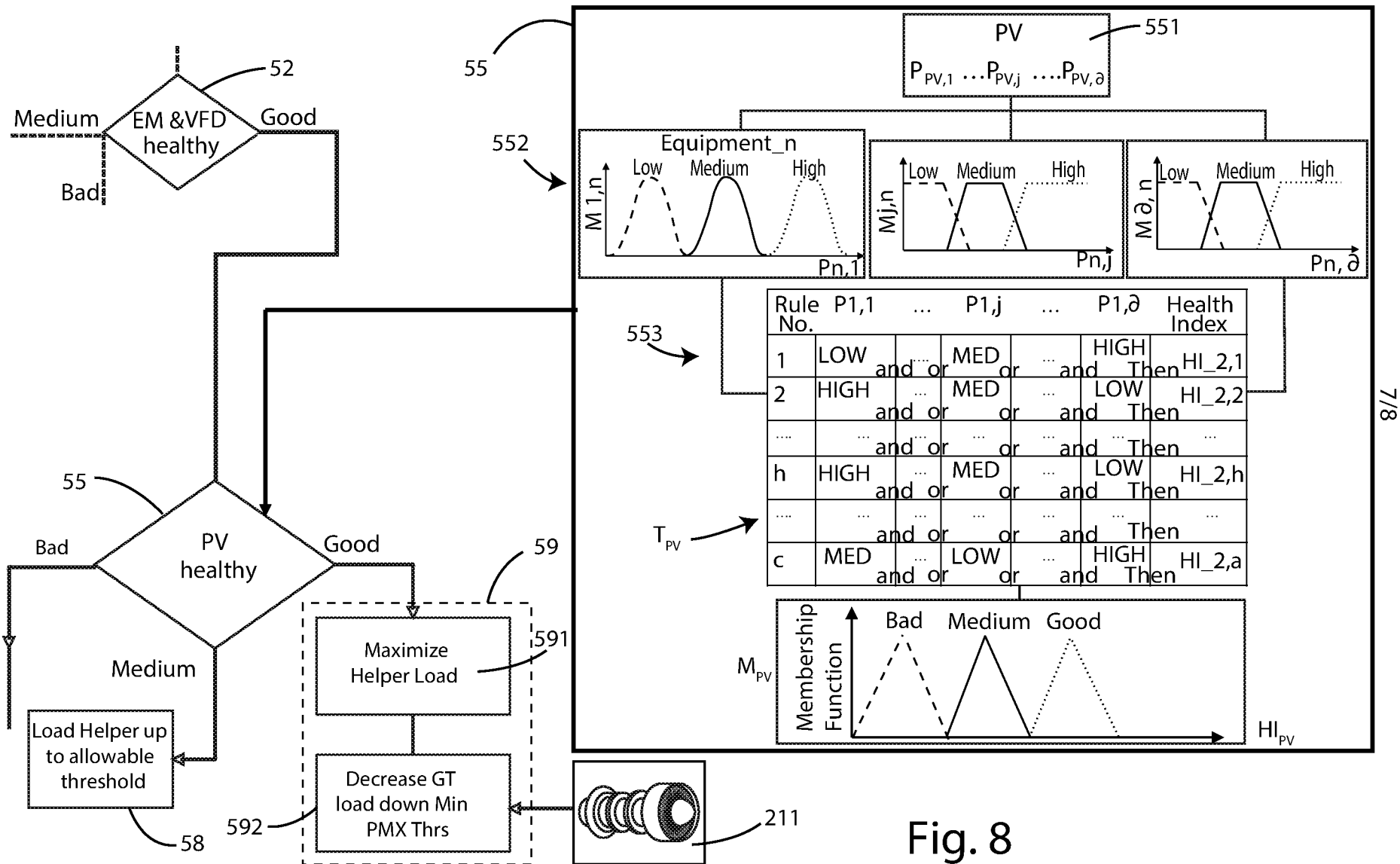


Fig. 8

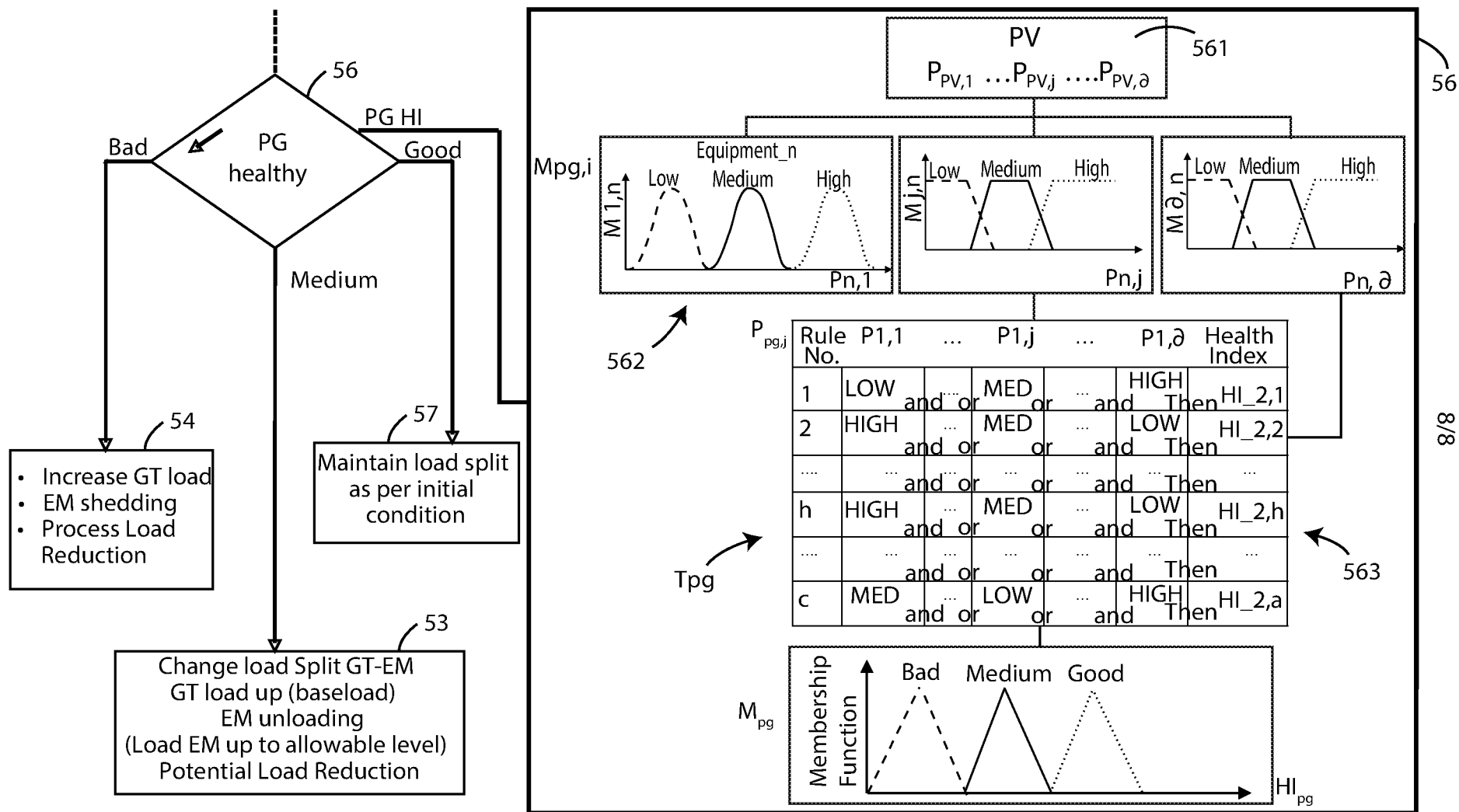


Fig. 9