

|                                     |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| <b>DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO</b> | <b>102021000026360</b> |
| <b>Data Deposito</b>                | <b>10/12/2021</b>      |
| <b>Data Pubblicazione</b>           | <b>10/06/2023</b>      |

Classifiche IPC

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|---------|--------|-------------|--------|-------------|
| F       | 03     | B           | 13     | 20          |

Titolo

Dispositivo giroscopico pendolare per la conversione di energia e sistema per la generazione di energia elettrica comprendente tale dispositivo

Descrizione di brevetto per invenzione industriale dal titolo:

**“Dispositivo giroscopico pendolare per la conversione di energia e sistema per la generazione di energia elettrica comprendente tale dispositivo”**

a nome di POLITECNICO DI TORINO, di nazionalità italiana, con sede in Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, ed elettivamente domiciliata, ai fini del presente incarico, presso i Mandatari Mirco BIANCO (No. Iscr. Albo 1639B), Filippo FERRONI (No. Iscr. Albo 530BM), Marco CAMOLESE (No. Iscr. Albo 882BM), Giancarlo REPOSIO (No. Iscr. Albo 1168BM), Corrado BORSANO (No. Iscr. Albo 446 BM) e Matteo BARONI (No. Iscr. Albo 1064 BM) c/o Metroconsult Milano S.r.l., Via Palestro 5/2, 16122 GENOVA (GE).

Inventori designati:

- 1) BRACCO Giovanni, di nazionalità italiana, c/o Politecnico di Torino – DIMEAS, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
- 2) CARAPELLESE Fabio, di nazionalità italiana, c/o Politecnico di Torino – DIMEAS, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
- 3) GIORGI Giuseppe, di nazionalità italiana, c/o Politecnico di Torino – DIMEAS, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
- 4) MATTIAZZO Giuliana, di nazionalità italiana, c/o Politecnico di Torino – DIMEAS, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
- 5) ORLANDO Vincenzo, di nazionalità italiana, c/o Wave for Energy S.r.l – Corso Francia 296, 10146 Torino
- 6) PASTA Edoardo, di nazionalità italiana, c/o Politecnico di Torino – DIMEAS, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
- 7) SIRIGU Sergej Antonello, di nazionalità italiana, c/o Politecnico di Torino – DIMEAS, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino

### **DESCRIZIONE**

L'invenzione riguarda, sotto un profilo più generale, i dispositivi per lo sfruttamento di fonti rinnovabili per la generazione di energia.

Come è noto, il tema delle energie rinnovabili e della loro utilizzazione per sostituire quelle da combustibili fossili è ormai una priorità riconosciuta internazionalmente a tutti i livelli, sia scientifici che tecnici ed istituzionali.

Infatti, per fare fronte al riscaldamento globale e dare corso alla cosiddetta transizione ecologica e la decarbonizzazione dell'ambiente, diventa stringente la necessità di ridurre le emissioni di anidride carbonica e degli altri gas ad effetto serra, che sono tipicamente legate alla combustione dei combustibili fossili (carbone, petrolio, idrocarburi e loro derivati).

Le fonti rinnovabili sono anch'esse ben conosciute e tra esse le più diffuse sono quella eolica, l'idroelettrica, la fotovoltaica, delle maree e del moto ondoso; ve ne sono comunque altre, a seconda delle risorse naturali disponibili delle diverse aree geografiche (es. geotermica, biomasse, ecc.).

La presente invenzione si riferisce in particolare allo sfruttamento del moto ondoso per la generazione di energia elettrica.

Infatti, considerando che i mari ricoprono circa il 71% della superficie terrestre, essi rappresentano una fonte di energia inesauribile anche per la sua potenzialità di sopperire alla richiesta di energia della popolazione mondiale, che si aggira circa 32000TWh/y.

La presente invenzione risponde quindi all'esigenza di avere un dispositivo capace di sfruttare la risorsa del moto ondoso per la produzione di energia elettrica.

In particolare, l'invenzione riguarda un nuovo dispositivo capace di convertire la forzante ondosa in energia meccanica, che serve per azionare un generatore elettrico quale un alternatore, una dinamo o similari.

Questo tipo di dispositivi, noti anche con l'acronimo anglosassone WEC "Wave Energy Converter" o sue combinazioni con prefissi o suffissi (es. PeWEC, ISWEC, o altro), è descritto in alcune pubblicazioni scientifiche e/o brevettuali ad opera degli odierni inventori o di altri autori, così come in altri documenti della tecnica anteriore reperibili in rete e sulle comuni banche dati brevettuali.

In estrema sintesi, queste apparecchiature si fondano sull'uso di sistemi giroscopici che supportano delle masse sospese che possono eseguire un movimento oscillatorio a pendolo, il quale fa ruotare un albero associato o collegato al rotore di un generatore così da produrre l'energia elettrica.

Nell'ambito di questo principio generale vi sono comunque diverse soluzioni.

Per esempio, vi sono molti dispositivi che prevedono il diretto contatto tra la forzante idrodinamica e il sistema di prelevamento della potenza (detto anche Power Take Off o PTO); in pratica ciò vuol dire che una parte dell'apparecchiatura galleggia o è comunque a contatto con l'acqua, con le controindicazioni tecniche e di funzionamento facilmente immaginabili che questo può comportare in ambienti marini (corrosione salina, umidità, depositi vegetazione, ecc.).

In tali casi si fa riferimento ai dispositivi di tipo Point Absorber.

Altre soluzioni, invece, prevedono l'installazione del meccanismo PTO all'interno di uno scafo e sfruttano l'interazione fisica scafo-meccanismo per generare un moto che aziona il generatore elettrico.

Il meccanismo di conversione può essere affidato ad un giroscopio con un giunto cardanico semplice ('single-gimbal'), oppure ad un pendolo o ad un corpo cilindrico incernierato al centro, libero di ruotare, secondo le diverse soluzioni tecniche (chiamate rispettivamente PeWEC e SeaREV).

Sono sistemi che permettono di catturare energia da direzioni limitate del moto ondoso, ma essendo dotati di un singolo giroscopio non sono in grado di operare su due o più onde aventi direzioni e periodi diversi.

In pratica sono dei dispositivi di beccheggio e quindi monodirezionali. In particolare, quello a giunto cardanico (ISWEC) sfrutta la velocità di rotazione del volano di un giroscopio per generare lungo l'asse di precessione un moto causato dalle forze di Coriolis. ISWEC è monodirezionale e il giroscopio è attivato nella condizione in cui l'asse di precessione è allineato con la direzione di propagazione dell'onda.

Il dispositivo PeWEC è basato invece sulla tecnologia del pendolo mentre il SeaREV sul moto di una ruota incernierata che in seguito ad un moto relativo, aziona un circuito idraulico.

Esempi di questo tipo di apparecchiature sono descritti nelle domande di brevetto italiane TO2009A 000422 e TO2008A000444, o nella pubblicazione di brevetto americana US 4352023.

E' noto poi un dispositivo multidirezionale, costituito da uno scafo approssimabile ad un solido di rivoluzione, generato da un profilo irregolare. Tale profilo permette allo scafo di assumere un moto di nutazione per la consistenza contemporanea di un moto di beccheggio rispetto ad un asse perpendicolare alla direzione di arrivo dell'onda e ad un moto di rollio rispetto all'asse parallelo all'onda. Il dispositivo è costituito da una massa incernierata lungo un asse verticale che sfrutta la forza centrifuga, dovuta al moto dello scafo, per la produzione di energia. Si tratta quindi di un convertitore di energia multidirezionale che sfrutta l'accoppiamento inerziale e di rigidità dato dalla variazione di direzione della componente perpendicolare del vettore gravità

Esempi di questi dispositivi multidirezionali sono descritti nelle domande di brevetto internazionali WO 2010/034888 e WO 2008/119881.

Si considerano non ottimali queste soluzioni, in quanto la dinamica del meccanismo interno non può essere accelerata ma è costretta a seguire la dinamica lenta di uno scafo soggetto ad un moto di nutazione, portando ad estrazioni di potenza molto basse.

Alla luce di questa disamina si può pertanto affermare che il problema tecnico alla base dell'invenzione sia quello di rendere disponibile un dispositivo per la conversione del moto ondoso in energia meccanica per la produzione di energia elettrica, con caratteristiche di struttura e funzionamento tali da superare i limiti e gli inconvenienti sopra delineati con riferimento allo stato della tecnica nota.

L'idea di soluzione di tale problema è quella realizzare un dispositivo che combini caratteristiche sostanzialmente sia da giroscopio, che da pendolo.

In tal modo si risolve il problema della multidirezionalità e multifrequenza del moto ondoso, così da aumentare il rendimento della produzione di energia elettrica da parte del dispositivo, massimizzando lo sfruttamento di quella rinnovabile marina.

In accordo con una forma di realizzazione preferita, il dispositivo che comprende il pendolo e il giroscopio è installato a bordo di un galleggiante assial-simmetrico, che attiva il meccanismo in seguito al moto generato dall'interazione fluido-struttura.

In questo modo il dispositivo non necessita di un sistema d'ormeggio per l'allineamento

dello scafo e quindi del meccanismo con l'onda in arrivo.

Le caratteristiche dell'invenzione sono enunciate più specificamente nelle rivendicazioni che seguiranno; tali caratteristiche risulteranno maggiormente chiare, alla luce della descrizione che viene di seguito riportata, relativa ad un esempio preferito e non esclusivo di realizzazione del trovato, mostrato nei disegni qui allegati a titolo indicativo, in cui:

- Fig. 1 è una vista assonometrica di un dispositivo giroscopico-pendolare in accordo con l'invenzione;
- Fig. 2 è una vista frontale del dispositivo di fig. 1;
- Figg. 3 e 4 mostrano schematicamente una installazione galleggiante per un dispositivo giroscopico-pendolare in accordo con l'invenzione;
- Figg. 5 e 6 mostrano schematicamente in pianta il funzionamento di un sistema secondo l'invenzione, per rispettive direzioni del fronte d'onda;
- Figg. 7 e 8 mostrano rispettivi schemi a blocchi di regolazione di un sistema generatore di energia elettrica, secondo l'invenzione.

Con riferimento ai disegni appena elencati, in essi (figure 5 e 6) con 1 è complessivamente indicato un sistema per la generazione di energia elettrica dal moto ondoso.

Il sistema generatore 1 comprende un dispositivo o meccanismo 2 di conversione dell'energia del moto ondoso (meglio visibile nelle figure 1 e 2), ed una struttura galleggiante 3 di supporto del dispositivo 2 (figure 3 e 4).

Nel seguito si procederà a descrivere separatamente tali parti 2 e 3 del sistema 1, per comodità e chiarezza di comprensione dell'invenzione; ciò non dovrà comunque essere inteso in modo limitante, in quanto comunque il dispositivo convertitore 2 e la struttura galleggiante 3 presentano caratteristiche vantaggiose sia autonomamente che in combinazione tra loro, come risulterà dal prosieguo.

Pertanto, i vari componenti descritti o mostrati nell'esempio potranno essere considerati indipendenti o combinati tra loro così come, più in generale, quando si farà riferimento ad una loro forma realizzazione preferita o di preferenza, ciò non dovrà essere inteso in modo limitante o comunque tale da escludere soluzioni alternative che le persone esperte sono in grado di prevedere.

Come si vede nelle figure 1 e 2, il dispositivo di conversione 2 è del tipo giroscopico-pendolare e per brevità nel prosieguo sarà anche chiamato con la crasi "giropendolo".

Quest'ultimo è sostanzialmente un convertitore di energia del moto ondoso di tipo giroscopico, il cui rotore ribassato rispetto all'asse di precessione è soggetto a forze elastiche sfruttabili per la generazione di energia.

A tal fine il dispositivo 2 comprende una struttura o basamento 11 da cui si ergono due colonne o montanti 12, che supportano girevolmente tra loro un telaio 13 oscillante; quest'ultimo ha di preferenza una configurazione chiusa a cornice o anello, e presenta esternamente due perni o semiassi 14 sporgenti da parti opposte lungo l'asse  $X_1$  di rotazione del sistema, detto anche asse di precessione del giroscopio.

I perni sporgenti 14 sono montati su corrispondenti cuscinetti 15 posti alle estremità delle colonne 12 ed uno di essi (quello a sinistra nelle figure 1, 2) è collegato ad un riduttore meccanico 16, sul quale si tornerà meglio in seguito.

I cuscinetti 15 di sostegno lungo l'asse di precessione  $X_1$  sono preferibilmente radiali, in quanto hanno principalmente una funzione di sostegno. Viste le basse velocità (massimo 1 rad/s) a cui ruota il relativo albero, i carichi a cui essi sono sottoposti sono trascurabili. Il telaio oscillante 13 supporta a sua volta una massa 17 pendolare posta ad una distanza  $L$  dal basamento 11, inferiore rispetto a quella dell'asse di precessione  $X_1$ ; la massa 17 è libera di ruotare rispetto ad un asse giroscopico  $Z_1$  ortogonale a quello di precessione  $X_1$ . Per questo scopo sono possibili varie soluzioni.

Nell'esempio mostrato nelle figure 1 e 2, la massa 17 è calettata su un albero 18 supportato in maniera folle rispetto all'asse  $Z_1$  dal telaio 13, il quale per questo motivo è realizzato in due semi-telai 13a, 13b aventi sostanzialmente forma a "C", disposti in modo contrapposto e uniti tra loro alle estremità da gruppi di flangia 19; questi ultimi alloggiavano vantaggiosamente dei cuscinetti (non visibili nei disegni) di supporto dell'albero 18, per consentirne la libera rotazione.

Questi cuscinetti lungo hanno la funzione sia di sostegno del volano, sia di assorbimento dei carichi trasferiti sul supporto giroscopico per indurlo al moto. Possono essere montati in diverse configurazioni considerando sia dei cuscinetti assiali, i quali hanno prevalentemente una funzione di sostegno, sia i radiali che hanno prevalentemente il compito di assorbimento di carichi generati dal volano.

Questa soluzione risulta adatta a telai 13 di grandi dimensioni ma, come detto in precedenza, sono possibili alternative che le persone esperte del ramo possono progettare

e mettere in opera.

Il telaio 13 può infatti essere realizzato in maniera singola, cioè non in due semi-telai uniti tra loro, con un albero 18 fisso su esso (cioè non folle) e la massa 17 supportata in maniera folle su tale albero, come una rotella.

Ulteriormente, la massa 17 è di preferenza un disco come mostrato nelle figure, in quanto ciò favorisce l'effetto giroscopico e l'abbassamento del suo baricentro rispetto all'asse di precessione  $X_1$ , mantenendo nel contempo un ingombro ridotto del dispositivo, a parità di condizioni. La massa 17 potrà comunque venire configurata in altro modo, a seconda delle caratteristiche che possono essere utili per l'applicazione del dispositivo giropendolo 2.

Per esempio, la massa giroscopica 17 potrebbe essere sferica, conica, ellissoidale o con profilo complesso (es. una ruota a lobi, un poliedro o altro).

Nel dispositivo giropendolo 2 l'albero 18 è messo in rotazione da un motore elettrico 20 così da far ruotare la massa giroscopica 17 calettata su di esso, secondo i principi di funzionamento di questo tipo di meccanismo.

La massa 17 serve da volano portato in rotazione ad alte velocità dal motore 20, che è posizionato in basso in figura 1 e 2 ma potrebbe essere montato in alto alternativamente. Si tratta preferibilmente di un motore a magneti permanenti o alternativamente un motore di tipo digitale (stepper motor).

La massa 17 è preferibilmente di elevate dimensioni per la sua doppia funzionalità ed è collocata ad una certa distanza  $L$  dall'asse di precessione  $X_1$ . La massa 17 del volano può variare dalle 5 alle 25 tonnellate, con un conseguente momento d'inerzia relativo all'asse polare  $Z_1$  variabile dai 10 ai 30  $\text{ton}\cdot\text{m}^2$ . La distanza  $L$  può variare da un minimo di 0.3 m ad un massimo di 3 m.

In questo contesto le oscillazioni del telaio 13 rispetto all'asse di precessione  $X_1$  sono trasmesse dal riduttore 16 ad un alternatore (non mostrato nei disegni) per la conversione dell'energia meccanica in energia elettrica.

Nell'esempio raffigurato il riduttore 16 è montato su un montante 26 di supporto, adiacente ad uno dei perni 14 sporgenti dal telaio 13; anche in questo caso sono comunque possibili soluzioni differenti dal punto di vista meccanico, ad esempio con l'uso di sistemi di trasmissioni a cinghie e pulegge che collegano il perno 14 all'alternatore, oppure a

cascate di ingranaggi e quant'altro.

Con il dispositivo giropendolo 2 le coppie d'uscita sono molto alte mentre le velocità sono basse. Quindi un sistema di riduzione della coppia di uscita è necessario per il collegamento con generatori elettrici commerciali. In particolare, in base al dispositivo il fattore di riduzione può essere di 5, 10 o 20.

La variabilità delle misure riportate dipende dal sito in cui si intende installare il dispositivo dell'invenzione.

Indipendentemente da ciò, il dispositivo giropendolo 2 è preferibilmente installato su una struttura galleggiante 3 la quale è ormeggiata ad un fondale marino, in maniera libera di flottare.

Secondo una forma preferita di realizzazione, la struttura galleggiante 3 comprende sostanzialmente uno scafo 30 che racchiude il giropendolo 2.

Lo scafo 30 è preferibilmente progettato in modo che sue caratteristiche idrodinamiche siano coerenti con le frequenze relative alle forzanti del sito di interesse.

Un esempio di scafo è mostrato nelle figure 3 e 4; come si vede la forma dello scafo può essere cilindrica, semi-sferica o parametrizzata con funzioni più complesse. Il suo compito è quello di racchiudere il giropendolo 2 e soprattutto di ruotare rispetto ai propri assi in modo efficace per attuare il meccanismo 2 al suo interno, ricordando che le prestazioni di quest'ultimo dipendono anche dalla cinematica imposta dall'esterno dal moto ondoso.

La massa dello scafo 30 è variabile in base al sito di riferimento ma di preferenza si aggira su ordini pari a  $10^3$ - $10^4$  tonnellate e ha dimensioni di lunghezza pari a 5-10 m ed altrettanti di larghezza.

Lo scafo 30 può essere costruito in lamiera o tramite l'assemblamento di galleggianti che circondano un corpo cilindrico ospitante il dispositivo giropendolo 2.

Il sistema d'ormeggio può essere realizzato in maniera molto semplice, in quanto grazie alle caratteristiche del sistema generatore 1 con un dispositivo convertitore 2 installato su una struttura galleggiante 3, esso risulta avere come funzione solo quella di ancoraggio del sistema per impedirne la deriva.

In particolare, lo scafo 30 è preferibilmente ormeggiato con un sistema 'multi gamba' con numero di linee di ormeggio 33 variabile a seconda delle circostanze. Il numero minimo

consigliato per questioni di equilibrio del dispositivo è di tre linee 33, come mostrato nelle figure 3 e 4, ma può essere variabile con quattro o cinque linee 33 in relazione alle caratteristiche dei siti di installazione (profondità dei fondali, correnti marine, venti, distanza dalla costa etc.).

Le linee di ormeggio schematicamente comprendono degli ancoraggi 35 costituiti da masse (es. blocchi di cemento, ancore e simili) collegate con delle cime o catene 36 allo scafo 30

In accordo con il principio generale di funzionamento del sistema generatore 1, il dispositivo giropendolo 2 è in sostanza un giroscopio il cui rotore, cioè la massa giroscopica 17, è posto ad una distanza  $L$  prefissata dall'asse di precessione  $X_1$ .

In questo modo la massa 17 svolge una funzione di contrappeso in relazione alle rotazioni del telaio 13 intorno all'asse di precessione  $X_1$ , che ne favorisce le oscillazioni rispetto ad una condizione di equilibrio.

Ne risulta pertanto che il dispositivo convertitore 2 è di fatto un singolo meccanismo in grado di lavorare sia da pendolo, sia da giroscopio.

In particolare, la sua funzionalità varia in base all'oscillazione imposta dall'ambiente esterno, ovvero dal moto ondoso allo scafo 30 su cui è installato il dispositivo giropendolo 2.

Come mostrato nelle figure, il dispositivo convertitore 2 comprende un volano (la massa 17) libero di ruotare rispetto al proprio asse polare  $Z_1$  e connesso al supporto giroscopico (il telaio 13) tramite una coppia di cuscinetti 19, che è libera di ruotare rispetto al proprio asse  $X_1$  che è l'asse di precessione del meccanismo.

Tale asse  $X_1$  coincide o è collegato con l'asse del generatore elettrico che frenando il moto rotatorio indotto sul supporto 13 del giroscopio, estrae energia elettrica.

Il moto del supporto giroscopico 13 può essere indotto da forze di diversa natura, in base alle rotazioni esterne cui è soggetto il dispositivo 2 e trasmesse dallo scafo 30 dove esso è installato, il quale è a sua volta soggetto al moto ondoso come schematicamente mostrato nelle figure 3, 4, 5 e 6.

Si assume che l'intero dispositivo giropendolo 2 sia indotto a ruotare rispetto ad un sistema di riferimento inerziale  $XYX$  come mostrato in Figura 1.

Per semplicità della trattazione assumiamo che il moto indotto sia su un unico asse, quindi le condizioni operative che possono verificarsi sono le seguenti:

- Caso in cui la rotazione  $\delta$  sia indotta lungo l'asse inerziale Y, il giropendolo 2 agisce da giroscopio in quanto l'asse di precessione  $\varepsilon$  (coincidente con  $X_1$ ) risulta perpendicolare al vettore velocità angolare  $\dot{\delta}$ .

La relazione è la seguente:  $(I_0 + I_s)\ddot{\varepsilon} + J\dot{\phi}\dot{\delta}\cos\varepsilon + Mgl\sin\varepsilon = T_{PTO}$

Dove  $I_0$  e  $I_s$  sono il momento d'inerzia lungo  $X_1$  del volano (la massa) 17 e del supporto 13 rispettivamente,  $J$  è il momento d'inerzia del volano 17 lungo l'asse polare  $Z_1$ ,  $M$  è la massa del volano 17,  $L$  è la distanza (del baricentro) di quest'ultimo dall'asse di precessione  $\varepsilon$  (o  $X_1$ ) e con  $g$  si fa riferimento all'accelerazione di gravità.

$T_{pto}$  è invece la coppia applicata dal generatore per estrarre energia elettrica dal moto indotto dell'intero meccanismo. Il dispositivo giropendolo 2 risulta avere quindi una propria cinematica lungo l'asse di precessione che dipende dall'effetto giroscopio  $J\dot{\phi}\dot{\delta}\cos\varepsilon$ . C'è anche una componente elastica come conseguenza del volano 17 ribassato rispetto all'asse di precessione  $\varepsilon$ .

- Caso in cui la rotazione  $\delta$  sia indotta lungo l'asse inerziale X, il giropendolo agisce da pendolo in quanto l'asse di precessione risulta parallelo al vettore velocità angolare  $\dot{\delta}$ , annullando l'effetto giroscopico.

Le forze che agiscono sull'asse di precessione sono le seguenti:

$$(I_0 + I_s)\ddot{\varepsilon} + (I_0 + I_s)\ddot{\delta} + Mgl\sin\varepsilon + Mgl\delta = T_{PTO}$$

Il moto lungo l'asse di precessione è generato dal moto relativo che si verifica tra i sistemi di riferimento in gioco quali quello inerziale OXYZ e quello solidale con il giropendolo  $OX_1Y_1Z_1$ . In particolare, gli accoppiamenti che si verificano sono di natura elastica ed inerziale.

Un ulteriore vantaggio di tale dispositivo si verifica nella situazione operativa intermedia in cui l'asse di precessione si trova sul piano XY ad un certo angolo dall'asse X e dall'asse Y. In tal caso, per il principio di sovrapposizione, l'effetto giroscopico e la forza elastica del pendolo persistono contemporaneamente, mantenendo il meccanismo sempre attivo. La regolazione della velocità angolare risulta fondamentale affinché i due effetti siano costruttivi.

Tale trattazione può essere estesa assumendo che il giropendolo sia forzato a ruotare e spostarsi sui 6 gradi di libertà disponibili rispetto al sistema di riferimento OXYZ.

Alla luce della spiegazione e delle informazioni precedenti è possibile comprendere il funzionamento del sistema 1 per la generazione di energia elettrica secondo l'invenzione.

Con riferimento alle figure 5 e 6, se consideriamo l'asse di precessione  $\varepsilon$  o  $X_1$ , il grado di libertà del dispositivo giropendolo 2 coincide con quello intorno all'asse di generazione di energia con cui il meccanismo è connesso al generatore elettrico.

Le possibilità che possono verificarsi sono:

- i) se la direzione d'arrivo dell'onda è allineata con l'asse  $\varepsilon$  o  $X_1$ , (in figura 5 direzione Ovest e Est), lo scafo 30 è indotto a ruotare rispetto all'asse  $y$  ad una certa velocità angolare, attuando quindi l'effetto giroscopico che porta il meccanismo a ruotare rispetto ad  $\varepsilon$  o  $X_1$ ;
- ii) se la direzione d'arrivo dell'onda è perpendicolare all'asse  $\varepsilon$  o  $X_1$  (in Figura 6 direzione Nord e Sud), lo scafo 30 è indotto a ruotare rispetto all'asse  $X$  ad una certa velocità angolare, quindi il giropendolo 2 si comporterà da pendolo portando a 0 la velocità di rotazione del volano.
- iii) Se la direzione d'arrivo dell'onda si trova in un intervallo intermedio rispetto ai casi sopra enunciati, il dispositivo giropendolo 2 si comporterà contemporaneamente da pendolo e da giroscopio, regolando in modo opportuno la velocità di rotazione della massa o volano 17.

Un sistema generatore 1 di energia elettrica capace di funzionare per tutte le condizioni del mare, il cui moto ondoso ha frequenze e ampiezze di eccitazione del sistema 1 che sono variabili da caso a caso, richiede una strategia o logica di controllo ottimale per massimizzare l'energia elettrica estratta dal sistema.

Tale strategia è gestita di preferenza con mezzi di elaborazione elettronica (i.e. computer, server e similari) collegati al sistema generatore 1 per mezzo di reti di telecomunicazioni, che dipenderanno da caso in funzione della posizione di installazione del sistema generatore 1.

Per esempio, in caso di installazioni al largo (off shore) dalle coste si potrà ricorrere a reti TLC di tipo satellitare o radio, mentre in caso di installazioni vicine alle coste e/o di impianti che comprendano una serie di dispositivi generatori, si potrà utilizzare una rete

di tipo cablato.

In tale caso si potranno sfruttare anche le linee di cavi per il trasporto dell'energia elettrica prodotta.

La potenza estratta in un determinato stato di mare è definita come:  $P_w = T_\varepsilon \dot{\varepsilon}$

Essa dipende quindi dalla velocità di rotazione del giropendolo  $\dot{\varepsilon}$  rispetto all'asse di precessione  $X_1$  e dalla coppia applicata dal generatore  $T_\varepsilon$ .

Il dispositivo 2 è quindi controllato per esaltare le proprie caratteristiche in funzione dei parametri descrittivi dell'onda in arrivo, quali l'altezza significativa dell'onda  $H_s$  e il periodo di picco  $T_e$ .

L'algoritmo di controllo del sistema 1, che può essere allocato in una memoria locale del sistema 1 oppure a distanza su un elaboratore disposto in qualunque punto e collegato al sistema 1, si basa sul principio del "impedance matching" (confronto di impedenza), schematicamente mostrato in figura 7, o utilizzando un controllo basato sul modello del dispositivo giropendolo 2, riportato in figura 8.

Nel primo caso, utilizzando la condizione di confronto dell'impedenza si può generare un profilo di velocità ottimo tramite il blocco  $\tilde{T}$  dando in ingresso del sistema la stima della forzante  $f_{ex}$ .

Tale profilo può poi essere raggiunto con il progetto di un controllore  $C$ .

In caso alternativo, può essere utilizzato un controllo di tipo MPC (Model Predictive Control) che genera la coppia ottima che il generatore elettrico deve applicare per massimizzare l'energia estratta dal dispositivo (fig. 8).

Tale algoritmo risolve ad ogni intervallo temporale un'ottimizzazione vincolata per il calcolo della coppia ottima.

La velocità della massa giroscopica o volano 17, che è anch'essa un parametro da controllare, viene invece calcolata in seguito a processi di simulazione numerica del dispositivo giropendolo 2.

In caso di mare calmo, o nel caso in cui si verifichi un'onda estrema la macchina può essere spenta.

Alla luce di quanto sinora descritto si può apprezzare come il sistema generatore 1 in accordo con l'invenzione, risolva il problema tecnico che ne è alla base.

Infatti, le caratteristiche del dispositivo convertitore 2 sono in parte di tipo giroscopico ed in parte di tipo pendolare, in combinazione.

Questo permette, da un lato, di avere delle rotazioni del telaio 13 indotte dal moto ondoso, secondo quanto avviene normalmente per i dispositivi giroscopici noti nella tecnica, installati a bordo di strutture galleggianti.

Tuttavia, la frequenza di tali oscillazioni risulta controllata grazie al comportamento pendolare del dispositivo 2, conferito dalla massa o volano 17 distanziata dall'asse di precessione.

Questa caratteristica conferisce un comportamento periodico alle oscillazioni del telaio 13, con una frequenza che in prima approssimazione dipende anche dalla distanza L della massa 17 dall'asse di precessione  $X_1$  (secondo la nota legge galileiana del pendolo:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}.$$

Ciò permette quindi di progettare il dispositivo giropendolo 2 nel modo più confacente alle condizioni marine del luogo in cui è installato.

Le caratteristiche del trovato sinora descritte rientrano nell'ambito delle rivendicazioni che seguono.

### **RIVENDICAZIONI**

1. Dispositivo per la conversione di energia, comprendente un telaio (13) atto a ruotare intorno ad un asse di precessione ( $X_1, \mathcal{E}$ ), una massa giroscopica (17) associata al telaio (13) in modo da poter girare intorno ad un asse ( $Z_1$ ) ortogonale a quello di precessione ( $X_1, \mathcal{E}$ ), mezzi di collegamento (14, 16, 17) per la trasmissione del movimento rotatorio del telaio (13) ad un alternatore o mezzi simili per la generazione di energia elettrica, caratterizzato dal fatto che la massa (17) è disposta a una distanza ( $L$ ) prefissata dall'asse di precessione ( $X_1, \mathcal{E}$ ), così da conferire al telaio (13) un comportamento pendolare oscillante.
2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, comprendente un albero rotante (18) disposto sul telaio (13), il quale supporta la massa giroscopica (17) in modo girevole rispetto ad un asse (18) perpendicolare a quello di precessione ( $X_1, \mathcal{E}$ ) del telaio (13).
3. Dispositivo secondo le rivendicazioni 1 o 2, in cui il telaio (13) ha una configurazione sostanzialmente chiusa a cornice o anello.
4. Dispositivo secondo la rivendicazione 3, in cui il telaio (13) presenta esternamente due perni o semiassi (14) sporgenti da parti opposte lungo l'asse ( $X_1$ ) di precessione ( $X_1, \mathcal{E}$ ), per il supporto girevole intorno a tale asse ( $X_1, \mathcal{E}$ ).
5. Dispositivo secondo una qualunque delle rivendicazioni da 1 a 4, in cui in cui il telaio (13) ha una configurazione sostanzialmente chiusa a cornice o anello, comprendente due semi-telai (13a, 13b) a "C" collegati tra loro per mezzo di gruppi di flangia (19) che alloggiavano rispettivi cuscinetti di supporto dell'albero (18) di supporto della massa giroscopica (17).
6. Dispositivo secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, comprendente mezzi motore (20) per la messa in rotazione della massa giroscopica (17) o dell'albero (18) su cui è montata, solidali con il telaio (13) oscillante.
7. Sistema per la generazione di energia elettrica dal moto ondoso, caratterizzato dal fatto di comprendere un dispositivo giroscopico pendolare (2) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, installato a bordo di una struttura galleggiante (3) ancorata o ormeggiata in un ambiente marino e collegato ad un alternatore o mezzi simili per la

produzione di energia elettrica.

8. Sistema secondo la rivendicazione 7, in cui la struttura galleggiante (3) comprende uno scafo (30) atto a racchiudere il dispositivo giroscopico pendolare (2) e a ruotare rispetto a propri assi di beccheggio e/o rollio, così da attuare il dispositivo giroscopico pendolare (2) in risposta alla cinematica imposta dall'esterno dal moto ondoso.

9. Sistema secondo le rivendicazioni 7 o 8, in cui lo scafo (30) della struttura galleggiante (3) ha configurazione con geometria sostanzialmente semi-sferica, a calotta sferica o similari, così da favorire l'interazione con il moto ondoso secondo una pluralità di direzioni diverse.

10. Sistema secondo una qualunque delle rivendicazioni da 7 a 9, comprendente mezzi di controllo di tipo elettronico, atti a gestire un algoritmo di controllo che si basa sul principio del "impedance matching", in cui utilizzando la condizione di confronto dell'impedenza si può generare un profilo di velocità ottimo, tramite un blocco funzionale ( $\tilde{T}$ ) dedicato e dando in ingresso dell'algoritmo la stima della forzante ( $f_{ex}$ ) del moto ondoso

11. Sistema secondo la rivendicazione 10, comprendente un blocco controllore (C) per il raggiungimento del profilo di velocità ottimo.

12. Sistema secondo una qualunque delle rivendicazioni da 7 a 9, comprendente mezzi di controllo di tipo elettronico, atti a gestire un algoritmo di controllo che si basa su un controllo di tipo MPC (Model Predictive Control) che genera la coppia ottima che il generatore elettrico deve applicare per massimizzare l'energia estratta dal sistema.

13. Sistema secondo la rivendicazione 12, in cui l'algoritmo risolve ad ogni intervallo temporale un'ottimizzazione vincolata per il calcolo della coppia ottima.

14. Sistema secondo una qualunque delle rivendicazioni da 7 a 13, in cui la velocità di rotazione della massa giroscopica o volano (17) è anch'essa un parametro gestito dall'algoritmo, e viene calcolata in seguito a processi di simulazione numerica del dispositivo giroscopico pendolare (2).

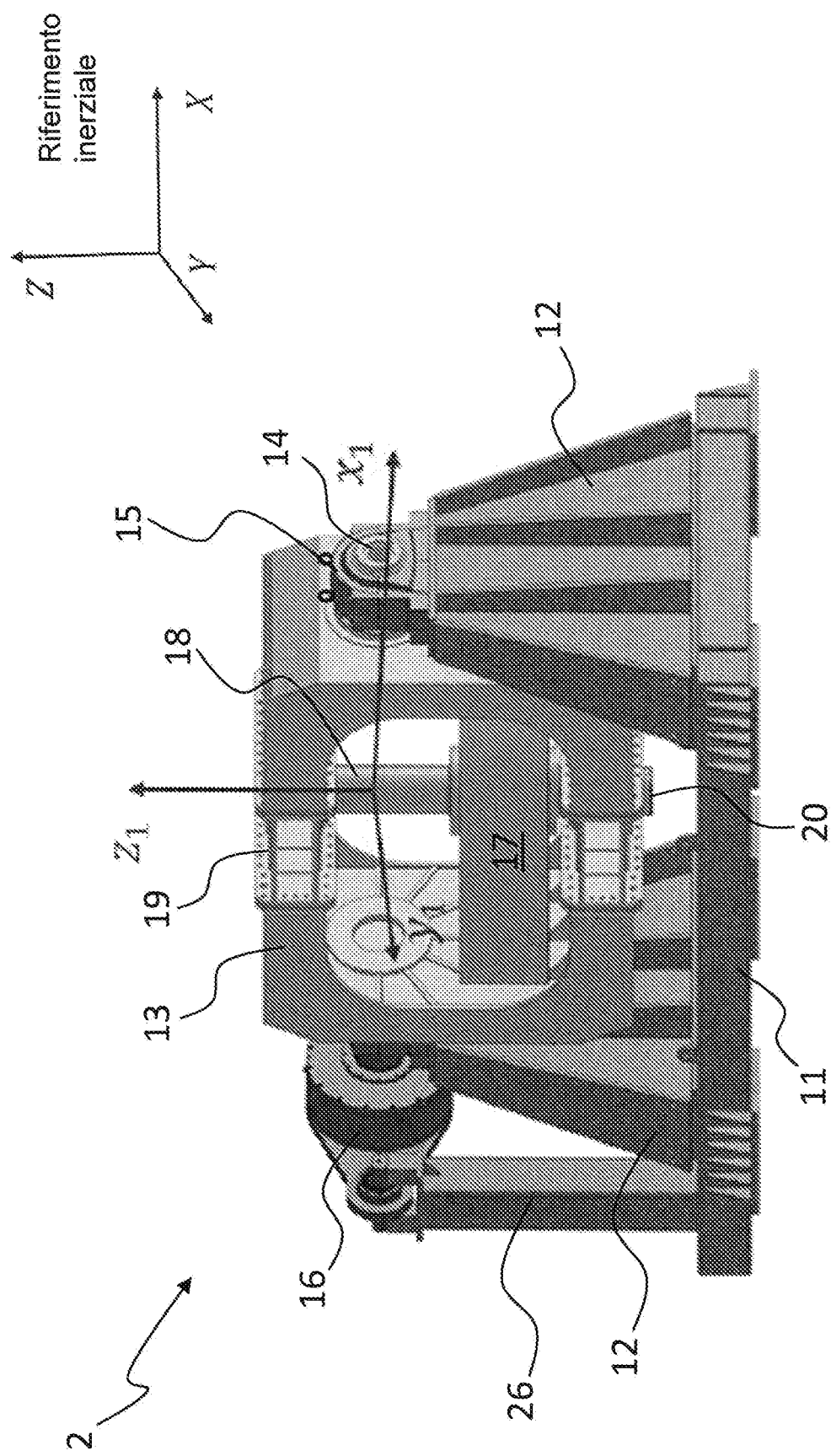


Fig. 1

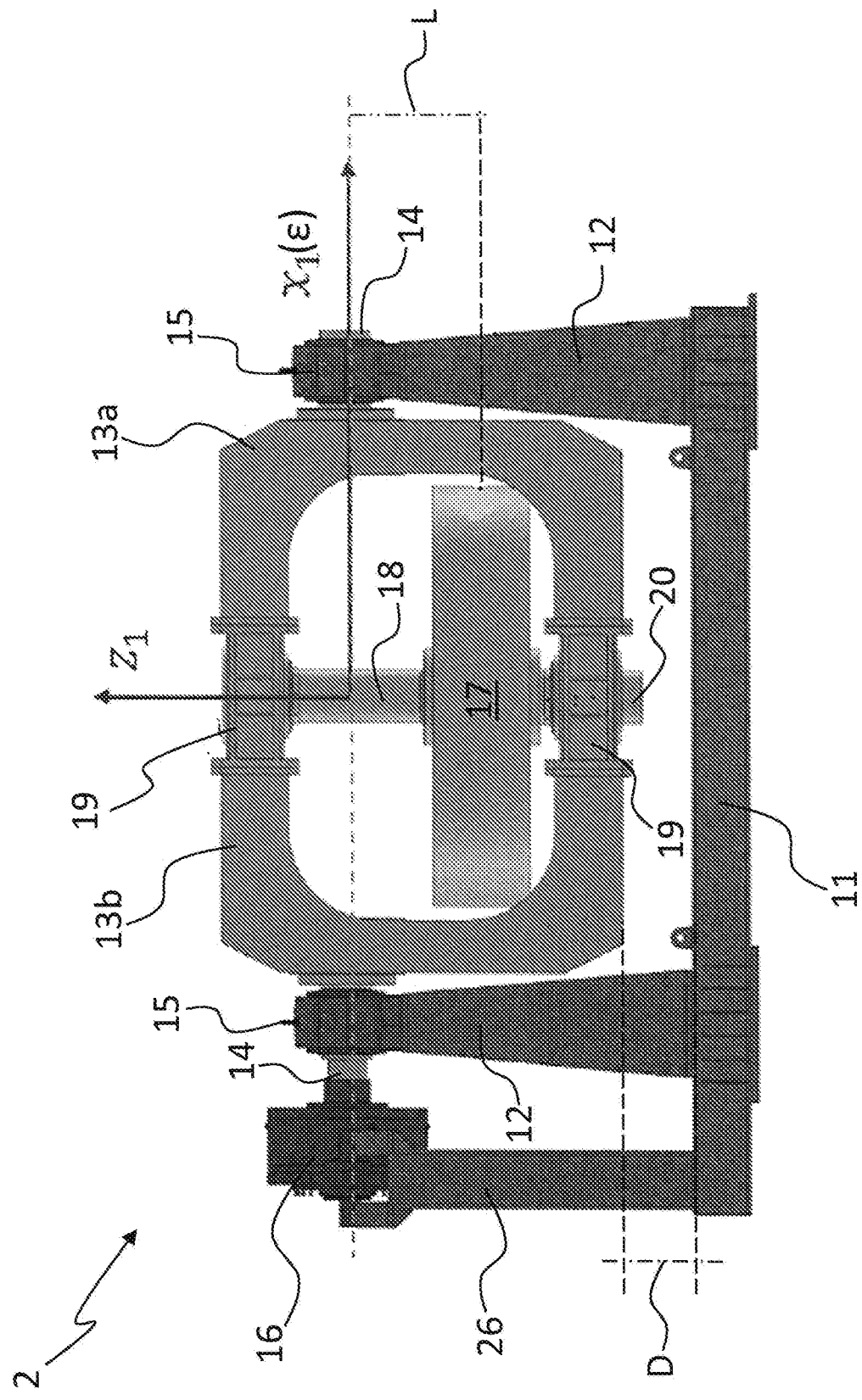


Fig. 2

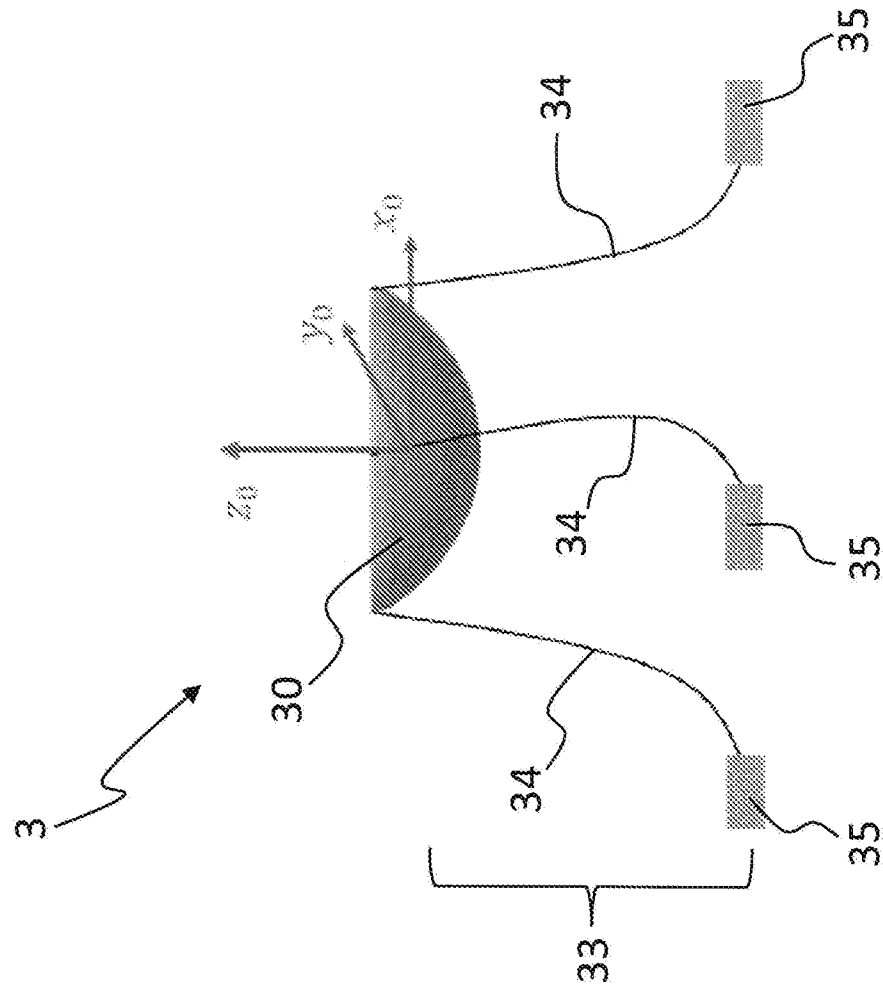


Fig. 3

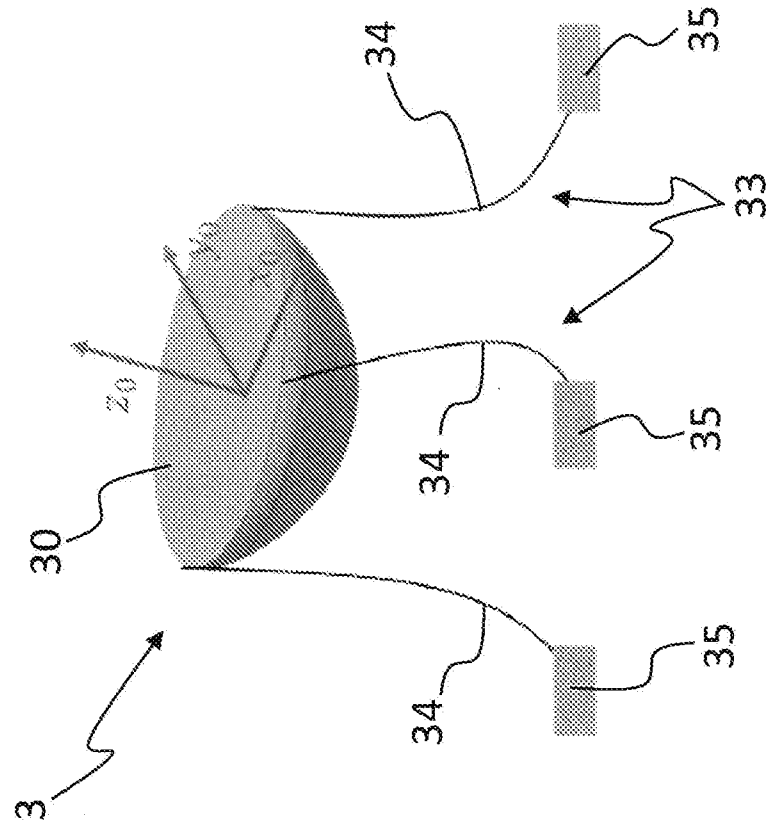


Fig. 4

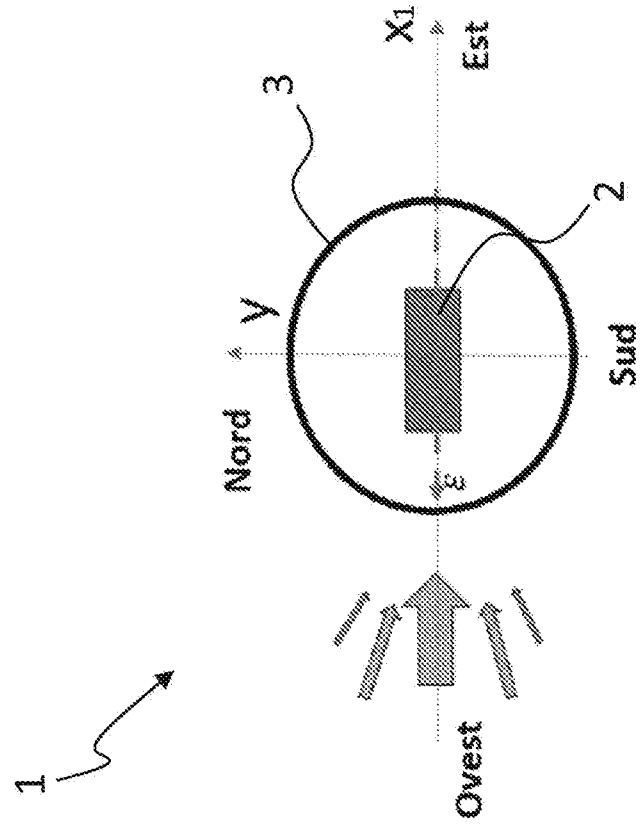


Fig. 5

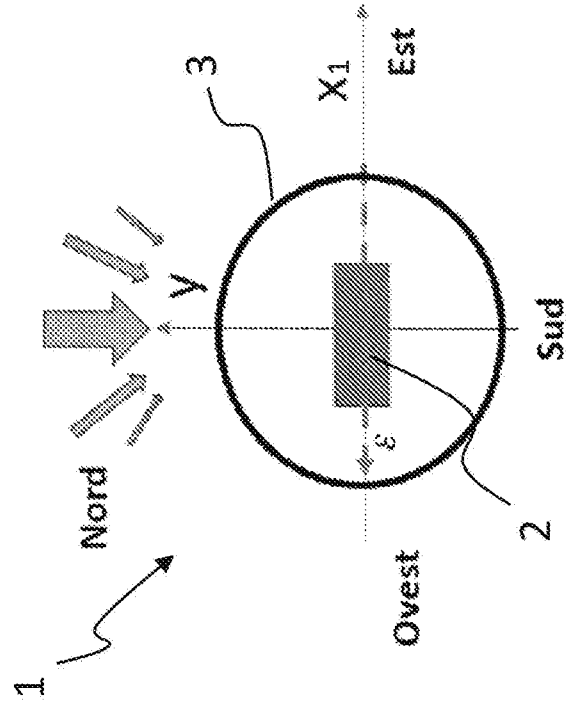


Fig. 6

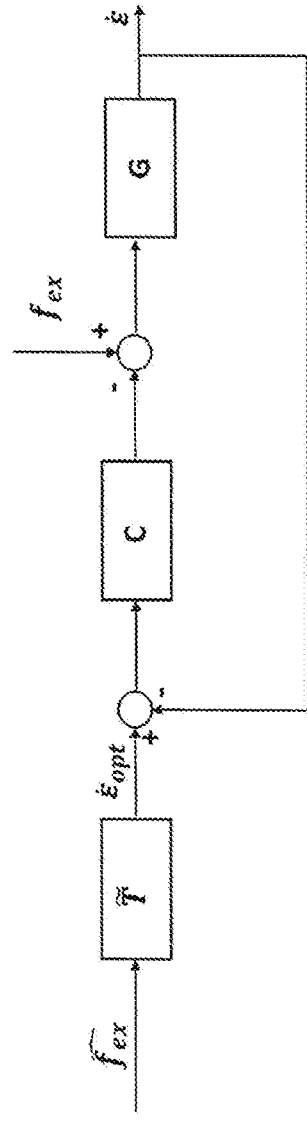


Fig. 7

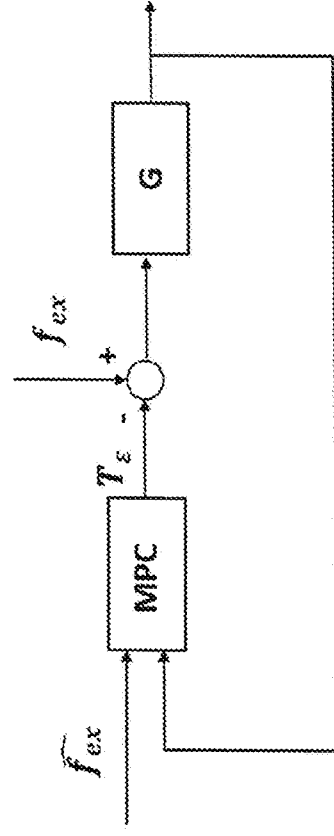


Fig. 8