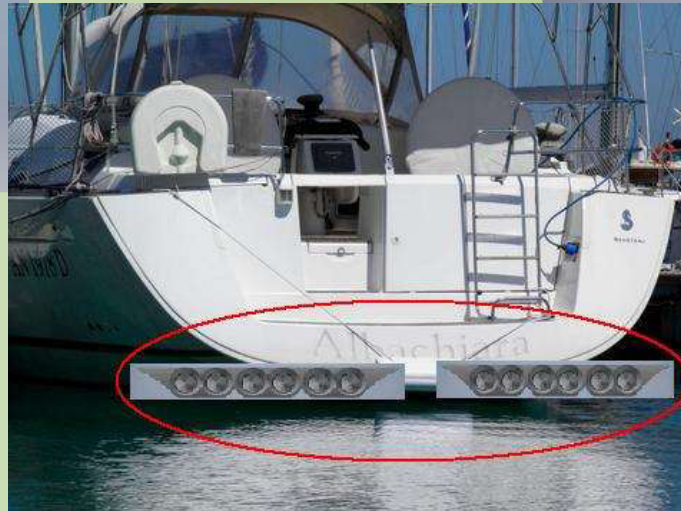
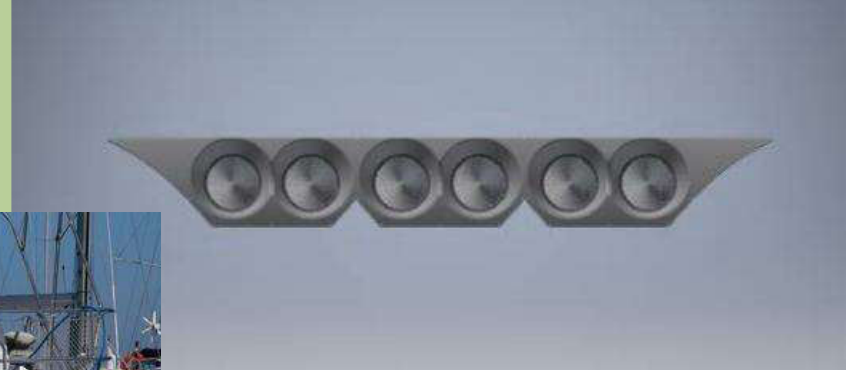
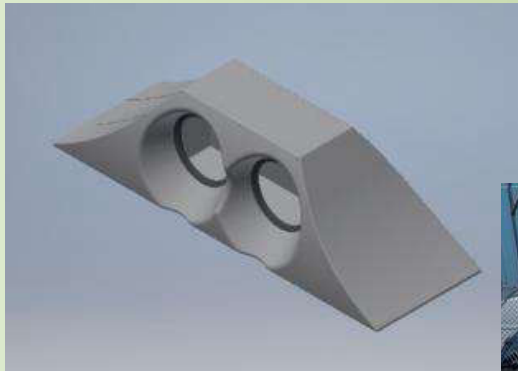


ITEG

Innovativo rotore, per convertire energia di un fluido (aeriforme o liquido) in energia rotatoria, e viceversa, con tensostruttura che apporta elevata solidità, fornendo efficacia in azione distribuita e pervasiva

ITEG™ — Used in a lot of machines, wich act fluid (gas or liquid), for motion or generate energy, in industry, agricoluture, transport (air, navy), ...

Il rotore è un sistema di conversione, basato su una distribuita e pervasiva serie di viti di archimede, modellate per forma, dimensione e passo, volte ad muovere o intercettare fluidi; facilitato nella sua implementazione da consolidate tecniche di stampe 3D, con materiali congrui alle applicazioni volute; può trovare alloggiamenti mediante canonici dispositivi meccanici (cuscinetti, assi, peri) o essere posizionato con supporti magnetici congrui;



Impiego del sistema

- Health&Heart, Wind&Energy, Hydro&Energy, Oil&Gas, Navy&Transport, Air&Fly, Drones&Services, Compressor&Scroll, Compressor&Screw, Fans&Axial, Cold&Chain, Food&Plant, Automotive&Pumps, Pumps&Food, Pharma&Plant, Extracorporeal&Circulation
- intercettare flussi di fluidi e convertirli in energia rotazionale, quindi verso altre forme, meccaniche od elettriche
- da energie rotazionali, meccaniche o elettriche, convertirle imprimendo moto a fluidi, generando flussi

Vantaggi

- Azione distribuita e pervasiva nella sezione d'urto operativa di risoluzione desiderata
- drastica riduzione di attriti tra cedente e ricevente le diverse forme di energie
- assenza di effetti contaminanti tra esterno ed interno dei comparti operativi
- drastica riduzione di turbolenze nei due processi di conversione, ai fluidi attivati o intercettati
- contigua, al pari della ruota, diviene utile in ogni attività antropica interessata da fluidi, vitali e non

Piano Commerciale di Ripresa e Resilienza

PCRR JWTeam Srls - Sede Legale: Via Terrazzano 85 – 20017 Rho (MI) - C.F. e P.I. 12092970966, Cap.Soc. € 200, Pec: pcrjw@pec.it
Luogo Milano; Data; Foro di riferimento: Milano (Italia); per quanto non espressamente indicato, si fa riferimento alla giurisprudenza in
aue sulla proprietà intellettuale e secondo trattati vigenti tra i paesi delle parti (in Convenzione di Parigi).

CONTRATTO PER LICENZA DI KNOW-HOW E BREVETTO PERTINENTE. ITEG_WO2019116406

Tra: **PCRR JWTeam Srls** (P.iva 12092970966), rappresentata da Lavanga Vito, con sede in Rho (MI), Italia, denominato “Concessionario” (da una parte) e la **Ditta ... (Vat code ...)**, rappresentata da, con sede in Città, Stato, denominata “Licenziataria” (dall’altra), altresì premesso che il Concessionario è in possesso di informazioni tecniche, commerciali e know-how applicativo pertinente la **DOMANDA di brevetto WO2019116406**, che interessano la Licenziataria, si conviene e stipula quanto di seguito.

Art. 1 - Il Concessionario autorizza la Licenziataria a **produrre, vendere, usare** i beni prodotti con il know-how fornito e la **DOMANDA di brevetto**, sia in forma scritta che verbale, di persona o in forma telematica, nel segmento commerciale: **Health&Heart, Wind&Energy, Hydro&Energy, Oil&Gas, Navy&Transport, Air&Fly, Drones&Services, Compressor&Scroll, Compressor&Screw, Fans&Axial, Food&Plant, Pharma&Plant, Extracorporeal&Circulation.**

Art. 2 - La licenza, non esclusiva, non può essere ceduta a terzi, salvo previo consenso del Concessionario. Alla prima Licenziataria si riconosce il diritto di prelazione su ogni eventuale successiva licenza nello stesso territorio (previo ulteriori accordi, convertibile in **ESCLUSIVA** per fini di bilancio patrimoniale, B I.3 cc art.2424, **con anticipo doppio e garantito ogni anno** oppure **UNICA, con anticipo minimo garantito ogni anno**).

Art. 3 - La presente licenza (produzione, distribuzione ed uso) è accordata per i seguente territorio: comprensorio di circa 1.000.000 abitanti (un milioni di abitanti, delimitato da congruo elenco province/comuni), a far centro la **città ...(Stato), nei confini dello stato di appartenenza della città.**

Art. 4 - Il Concessionario si impegna a fornire alla Licenziataria, assistenza e tutte le informazioni circa il materiale d’uso, la sperimentazione dello stesso, i metodi di impiego utilizzati, ivi compresi quanto da mantenere segreto, in modo che un tecnico di normale qualificazione professionale possa realizzare i beni o servizi, dopo un ragionevole periodo di apprendimento e di sperimentazione. Il Concessionario fornirà alla Licenziataria, entro il termine di 3 mesi dalla firma del presente contratto, l’assistenza e tutte le informazioni, progetti e i disegni utili che consentano la realizzazione del prodotto. Beni e servizi della Licenziataria, potranno fregiarsi di marchio distintivo del Concessionario (se autorizzato, con licenza dedicata), a garanzia di conformità e liceità dei beni stessi. A detti materiali sarà unito un dossier, datato da PEC e segreto, completo di questo accordo con i dati sensibili.

Art. 5 - Il Concessionario dichiara di non essere a conoscenza dell’esistenza di validi brevetti appartenenti a terzi e posti a tutela del procedimento industriale oggetto del presente contratto, senza tuttavia garantire che un tale brevetto non possa rivelarsi in seguito esistente.

Art. 6 – La Licenziataria verserà al Concessionario il **8%** del fatturato conseguente (diretto o indiretto) o di beni equivalenti nel mercato agito; si conviene una rendicontazione semestrale e diritto alla trasparenza sulla contabilità pertinente. La Licenziataria si obbliga a versare l’importo di 100.000€ (centomila/00 euro), il 20% alla firma del presente accordo, il saldo entro 30 giorni, a titolo di anticipo ed impegno nello sviluppo della licenza. Ulteriori mark-up potranno essere concordati in futuro, per iscritto, a fronte di specifici servizi aggiuntivi.

Art. 7 - La Licenziataria, per se e coloro che introduce al segreto, si obbliga a considerare come strettamente riservati tutti i documenti e le informazioni comunicati (know-how), anche dopo la conclusione del presente contratto. Al riguardo, essa adotterà tutte le più opportune precauzioni al fine di salvaguardare il segreto e know-how complessivo.

Art. 8 - Le Parti si impegnano a non partecipare, direttamente o per interposta persona, in alcuna società che possa utilizzare indebitamente, nello stesso territorio accordato, la documentazione e le informazioni tecniche oggetto del presente contratto. Le Parti si presteranno reciproca collaborazione per impedire, in ogni miglior modo, che terzi possano copiare servilmente il prodotto. In particolare, esse si presteranno reciproca assistenza nell’azione diretta a perseguire gli imitatori o contraffattori, nei modi e nelle forme consentite dalle leggi e dagli ordinamenti vigenti nei Paesi dove esistono o agiscono terzi da perseguire.

Art. 9 - Il presente contratto avrà la durata di 20 anni. Al termine della validità del presente contratto, la Licenziataria si asterrà dal divulgare la documentazione tecnica in suo possesso.

Concessionario Firma:

Licenziataria Firma:

Restituire, completa in ogni sua parte, mediante PEC, a: pcrjw@pec.it

(12) International Application Status Report

Received at International Bureau: 18 January 2019 (18.01.2019)

Information valid as of: 17 April 2019 (17.04.2019)

Report generated on: 22 November 2021 (22.11.2021)

(10) Publication number:

WO2019/116406

(43) Publication date:

20 June 2019 (20.06.2019)

(26) Publication language:

English (EN)

(21) Application Number:

PCT/IT2018/000164

(22) Filing Date:

14 December 2018 (14.12.2018)

(25) Filing language:

English (EN)

(31) Priority number(s):

102017000144930 (IT)

(31) Priority date(s):

15 December 2017 (15.12.2017)

(31) Priority status:

Priority document received (in compliance with PCT Rule 17.1)

(51) International Patent Classification:

F04D 13/04 (2006.01); **F04D 25/04** (2006.01); **F04D 29/18** (2006.01); **F03B 7/00** (2006.01)

(71) Applicant(s):

LAVANGA Vito [IT/IT]; VIA TERRAZZANO 85 20017 RHO (MI) (IT) *(for all designated states)*

(72) Inventor(s):

FARNE, Stefano; VIA TRASIMENO 40/14 20128 - MILANO (MI) (IT)

(54) Title (EN): INTEGRATED ELECTRIC TURBINE-GENERATOR DEVICE

(54) Title (FR): DISPOSITIF DE GÉNÉRATEUR-TURBINE ÉLECTRIQUE INTÉGRÉ

(57) Abstract:

(EN): Device (1) for the conversion of mechanical energy into electrical power and vice versa, comprising: - first means for converting a rectilinear flow of a fluid into the rotary motion of a rotor system (2), and vice versa, - second means for converting the mechanical energy of said rotor system (2) into electrical energy and vice versa; wherein said rotor system (2) is adapted to integrate in one single element the functions of said first and second means and including: - a first outer cylinder (3), comprising permanent magnets, capable of transforming the mechanical energy of said rotor system (2) into electrical energy and vice versa; - a second intermediate cylinder adapted to convert said rectilinear flow of a fluid into the rotary movement of said rotor system and vice versa; - a third internal cylinder (5) adapted to perform the axis function (6) of the rotor system (2). The second intermediate cylinder is structured with helically wound ducts.

(FR): L'invention concerne un dispositif (1) pour la conversion d'énergie mécanique en énergie électrique, et inversement, lequel dispositif comprend : des premiers moyens pour convertir un écoulement rectiligne d'un fluide en un mouvement rotatif d'un système de rotor (2), et inversement, des seconds moyens pour convertir l'énergie mécanique dudit système de rotor (2) en énergie électrique, et inversement ; ledit système de rotor (2) étant apte à intégrer en un seul élément les fonctions desdits premier et second moyens, et comprenant : - un premier cylindre externe (3) comprenant des aimants permanents, aptes à transformer l'énergie mécanique dudit système de rotor (2) en énergie électrique, et inversement ; - un deuxième cylindre intermédiaire apte à convertir ledit écoulement rectiligne d'un fluide en un mouvement rotatif dudit système de rotor, et inversement ; - un troisième cylindre interne (5) apte à assurer la fonction d'axe (6) du système de rotor (2). Le deuxième cylindre intermédiaire est structuré avec des conduits enroulés de façon hélicoïdale.

International search report:

Received at International Bureau: 12 April 2019 (12.04.2019) [EP]

International Report on Patentability (IPRP) Chapter II of the PCT:

Not available

(81) Designated States:

AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,

PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

European Patent Office (EPO) : AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR

African Intellectual Property Organization (OAPI) : BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG
African Regional Intellectual Property Organization (ARIPO) : BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW

Eurasian Patent Organization (EAPO) : AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM

Declarations:

Declaration made as applicant's entitlement, as at the international filing date, to apply for and be granted a patent (Rules 4.17(ii) and 51bis.1(a)(ii)), in a case where the declaration under Rule 4.17(iv) is not appropriate

Declaration of inventorship (Rules 4.17(iv) and 51bis.1(a)(iv)) for the purposes of the designation of the United States of America



Ministero dello Sviluppo Economico

Direzione generale per la tutela della proprietà industriale

Ufficio Italiano Brevetti e Marchi

ATTESTATO DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE

Il presente brevetto viene concesso per l'invenzione oggetto della domanda:

N. 102018000011105

TITOLARE/I: • LAVANGA VITO

DOMICILIO: LAVANGA VITO
VIA TERRAZZANO 85
20017 Rho

INVENTORE/I: • LAVANGA VITO
• FARNE' STEFANO

TITOLO: ITEG - INTEGRATED TURBINE ELECTRIC GENERATOR. TURBINA AGENTE DA ROTORE
DI UN GENERATORE ELETTRICO, CON TRASDUZIONE DIRETTA DI ENERGIA
MECCANICA, FORNITA DA FLUIDO, IN ENERGIA ELETTROMAGNETICA E VICEVERSA.
(EX MII020170001444930).

CLASSIFICA: F04D

DATA
PRESENTAZIONE: 14/12/2018

PRIORITA': • IT. Deriva da una domanda di brevetto d'invenzione n.102017000144930 del 15/12/2017

Roma, 12/11/2020

Il Dirigente della Divisione VII

Loredana Guglielmetti



Informazioni identificative della domanda di Brevetto per invenzione industriale presentata il 14/12/2018

Dati aggiornati al 18/11/2021

Numero domanda: 102018000011105

Data presentazione: 14/12/2018

Data deposito: 14/12/2018

Tipologia domanda: Brevetto per invenzione industriale

Tipo deposito: DEPOSITO PRESSO LA CAMERA DI COMMERCIO

Tipo domanda: Ordinaria

Tipo registrazione: Primo Deposito

Stato domanda: Concessa

Data concessione: 12/11/2020

Numero domanda precedente formato:

Numero concessione:

Titolo: ITEG - INTEGRATED TURBINE ELECTRIC GENERATOR. TURBINA AGENTE DA ROTORE DI UN GENERATORE ELETTRICO, CON TRASDUZIONE DIRETTA DI ENERGIA MECCANICA, FORNITA DA FLUIDO, IN ENERGIA ELETTROMAGNETICA E VICEVERSA. (EX MI1020170001444930).

Anticipata accessibilità: NO

Classi

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo	Note
F	04	D			Classificazione inserita dall'esaminatore

Inventori

Cognome e nome
LAVANGA VITO
FARNE' STEFANO

Priorità

Numero	Descrizione	Data	Sigla nazione
102017000144930	Deriva da una domanda di brevetto d'invenzione	15/12/2017	IT

Titolari

Denominazione/cognome e nome	Tipo società	Partita I.V.A./C.F.	Diritti %	CAP	Città	Provincia	Nazione
------------------------------	--------------	---------------------	-----------	-----	-------	-----------	---------

Denominazione/cognome e nome	Tipo società	Partita I.V.A./C.F.	Diritti %	CAP	Città	Provincia	Nazione
LAVANGA VITO		LVNVTI57E16I493K	0	20017	Rho	Milano	Italia

Domicilio elettivo

Nominativo	Via	Numero civico	Città	CAP	Provincia	Nazione	E-mail	PEC
LAVANGA VITO	VIA TERRAZZANO	85	Rho	20017	Milano		VITO.LAVANGA@EXPOTV1.COM	

Pagamenti

Data	Importo	Tipo	Identificativo	Causale
14/12/2018	160,00	Modello F24	Deposito Pagamento Deposito, Annualita, Altri Tributi	

1. WO2019116406 - INTEGRATED ELECTRIC TURBINE-GENERATOR DEVICE

PCT Biblio. Data Description Claims Drawings ISR/WOSA/A17[2][a] National Phase

Notices Documents

[PermaLink](#) [Machine translation ▼](#)

Title

[EN] INTEGRATED ELECTRIC TURBINE-GENERATOR DEVICE

[FR] DISPOSITIF DE GÉNÉRATEUR-TURBINE ÉLECTRIQUE INTÉGRÉ

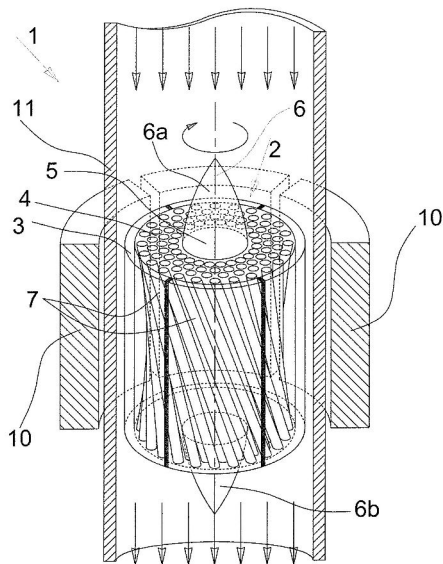



Fig. 1

Abstract

[EN] Device [1] for the conversion of mechanical energy into electrical power and vice versa, comprising: - first means for converting a rectilinear flow of a fluid into the rotary motion of a rotor system [2], and vice versa, - second means for converting the mechanical energy of said rotor system [2] into electrical energy and vice versa; wherein said rotor system [2] is adapted to integrate in one single element the functions of said first and second means and including: - a first outer cylinder [3], comprising permanent magnets, capable of transforming the mechanical energy of said rotor system [2] into

electrical energy and vice versa; - a second intermediate cylinder adapted to convert said rectilinear flow of a fluid into the rotary movement of said rotor system and vice versa; - a third internal cylinder [5] adapted to perform the axis function [6] of the rotor system [2]. The second intermediate cylinder is structured with helically wound ducts. 

[FR] L'invention concerne un dispositif [1] pour la conversion d'énergie mécanique en énergie électrique, et inversement, lequel dispositif comprend : des premiers moyens pour convertir un écoulement rectiligne d'un fluide en un mouvement rotatif d'un système de rotor [2], et inversement, des seconds moyens pour convertir l'énergie mécanique dudit système de rotor [2] en énergie électrique, et inversement ; ledit système de rotor [2] étant apte à intégrer en un seul élément les fonctions desdits premier et second moyens, et comprenant : - un premier cylindre externe [3] comprenant des aimants permanents, aptes à transformer l'énergie mécanique dudit système de rotor [2] en énergie électrique, et inversement ; - un deuxième cylindre intermédiaire apte à convertir ledit écoulement rectiligne d'un fluide en un mouvement rotatif dudit système de rotor, et inversement ; - un troisième cylindre interne [5] apte à assurer la fonction d'axe [6] du système de rotor [2]. Le deuxième cylindre intermédiaire est structuré avec des conduits enroulés de façon hélicoïdale.

Publication Number

WO/2019/116406

Publication Date

20.06.2019

International Application No.

PCT/IT2018/000164

International Filing Date

14.12.2018

IPC

F04D 13/04 2006.1

F04D 25/04 2006.1

F04D 29/18 2006.1

F03B 7/00 2006.1

CPC

F03B 17/061

F03B 3/04

F04D 13/043

F04D 29/181

F05B 2220/20

F05B 2220/7066

[View more classifications](#)

Applicants

LAVANGA Vito [IT]/[IT] VIA TERRAZZANO 85 20017 RHO (MI), IT

Inventors

FARNE, Stefano

Priority Data

102017000144930 15.12.2017 IT

Publication Language

English [en]

Filing Language

English [EN]

Designated States

[View all](#)

Latest bibliographic data on file with the International Bureau



UNIVERSITÀ
DI PAVIA

ITEG

CARATTERISTICHE MECCANICHE E DI FUNZIONAMENTO E POSSIBILE UTILIZZO NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE

Relatore: Prof. Stefano Farnè
Correlatore: Dott. Vito Lavanga

Candidato: Nicolò Pelizza

Cos'è ITEG?

ITEG è una macchina reversibile: cioè in grado di saper conferire energia ad un fluido, oppure assorbire energia da tale fluido, a seconda se svolge rispettivamente la funzione di pompa o di turbina.

Composto da poche componenti meccaniche (rotore, statore, testate), per la sua semplicità e per la sua adattabilità di progetto può essere utilizzato in molteplici applicazioni.

Il lato innovativo rispetto ad altre macchine simili tutt'oggi in commercio è l'integrazione del motore nello statore, e l'equilibrio del rotore attraverso cuscinetti magnetici.

Caratteristica fondamentale di questa macchina è anche sicuramente la sezione del rotore.

Rotore



- Condotti elicoidali che consentono uno scambio energetico più omogeneo;
- Spessore dei tramezzi tra i condotti che può essere nell'ordine delle decine di micron;
- Bocche d'ingresso dei condotti presenti sull'intera superficie del rotore che è lambita dal fluido;
- Assenza di perni meccanici;
- Incavi a coda di rondine sul cilindro esterno utili per il posizionamento dei magneti permanenti.

Statore



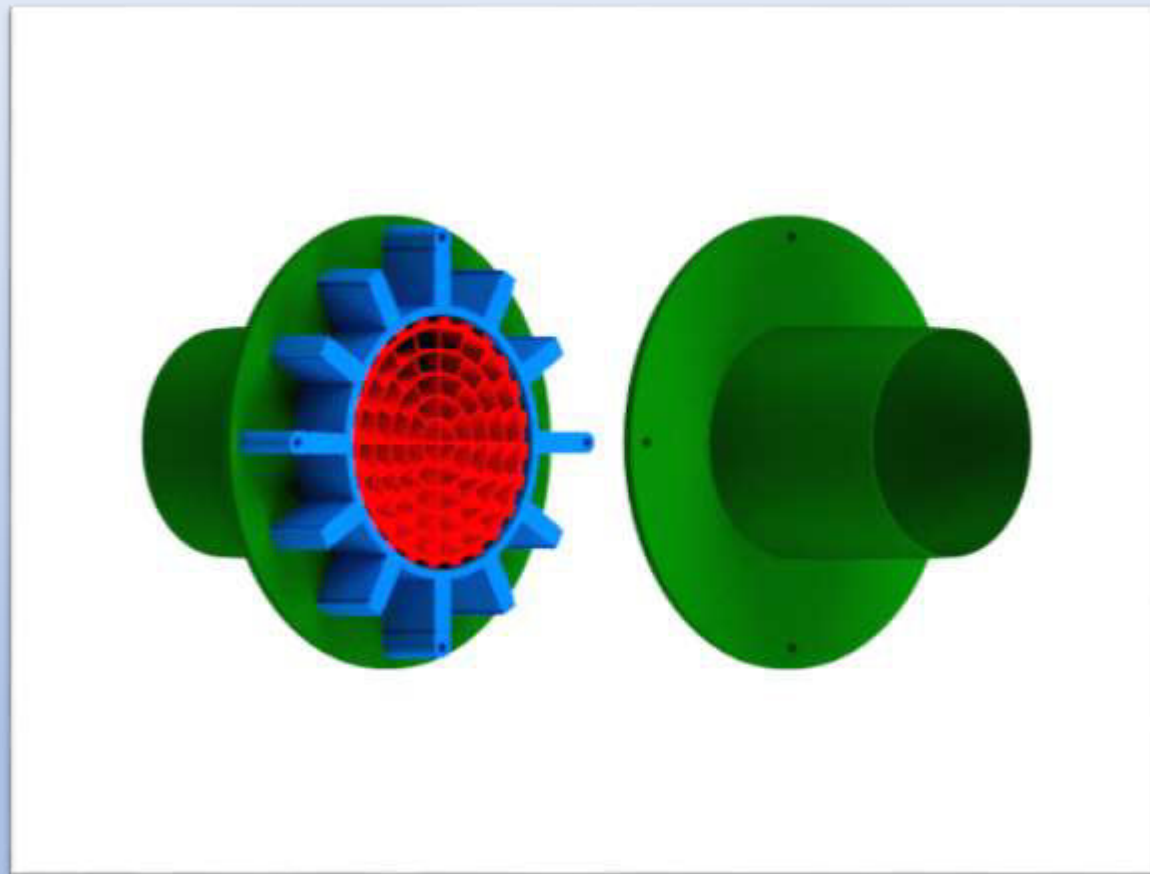
- Racchiude in senso radiale il rotore;
- Viene fissato alle testate con semplici bulloni;
- Tra le sue propagazioni radiali vengono posizionati gli avvolgimenti in grado di generare il campo elettromagnetico che andrà ad interagire con i magneti posti sul rotore.

Testata



- Racchiude assialmente il rotore;
- Possiede un incavo in cui sarà alloggiato il magnete toroidale che interagendo con i magneti permanenti del rotore, ha il compito di mantenere quest'ultimo a distanza dalla testata per garantirgli una corretta rotazione;
- Sono collegate allo statore mediante bulloni, e alla tubazione del fluido attraverso giunti a bicchiere;

Assieme



Modello matematico

Volume

$$V = S * L$$



Portata

$$Q = V * n/60 * 1/\lambda$$



Potenza

$$N = Q * H * \gamma / \eta \quad (\text{Pompe})$$

$$N = Q * H * \gamma * \eta \quad (\text{Turbine})$$

Rendimento

Rendimento globale della macchina η



Rendimento idraulico

$\sim 0,90 - 0,95$



Rendimento volumetrico

$\sim 0,99$



Rendimento meccanico

$\sim 0,99$



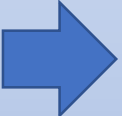


Stampa 3D

La stampa 3D è una tecnica di fabbricazione additiva, che consiste nella deposizione uno sopra l'altro di strati sottilissimi di materiale, per realizzare un componente progettato su sistemi CAD.

Vantaggi:

- Velocità di realizzazione dei componenti;
- Bassissime tolleranze dimensionali;
- Possibilità di realizzare geometrie infattibili con altri metodi di produzione;
- Vasta scelta di materiali tecnologici per il componente realizzato.

Processi dell'industria alimentare che necessitano di pompe

- Trasporto  pompe monovite, pompe a lobi, pompe centrifughe
- Filtrazione  pompe a lobi, pompe centrifughe
- Dosaggio  pompe dosatrici
- Riempimento  pompe dosatrici, pompe monovite
- Concentrazione per evaporazione:  pompe a lobi, pompe centrifughe

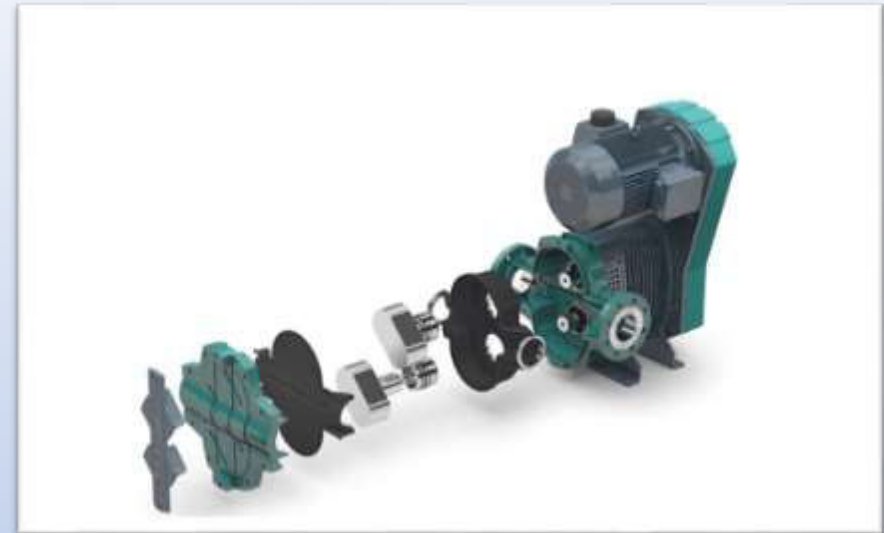
Possibili vantaggi di ITEG

POMPE IN COMMERCIO	ITEG
Pompe monovite	<ul style="list-style-type: none">· minor ingombro· distribuzione più omogenea della pressione al fluido da parte dei condotti· minor azione tagliante· assenza di trasmissioni
Pompe a lobi	<ul style="list-style-type: none">· minor ingombro· minor azione tagliante· assenza di trasmissioni
Pompe dosatrici	<ul style="list-style-type: none">· minor ingombro· risparmio di materiale· assenza di trasmissioni
Pompe centrifughe	<ul style="list-style-type: none">· minor ingombro· rendimenti più performanti· maggior adattabilità di progetto

Pompe monovite



Pompe a lobi

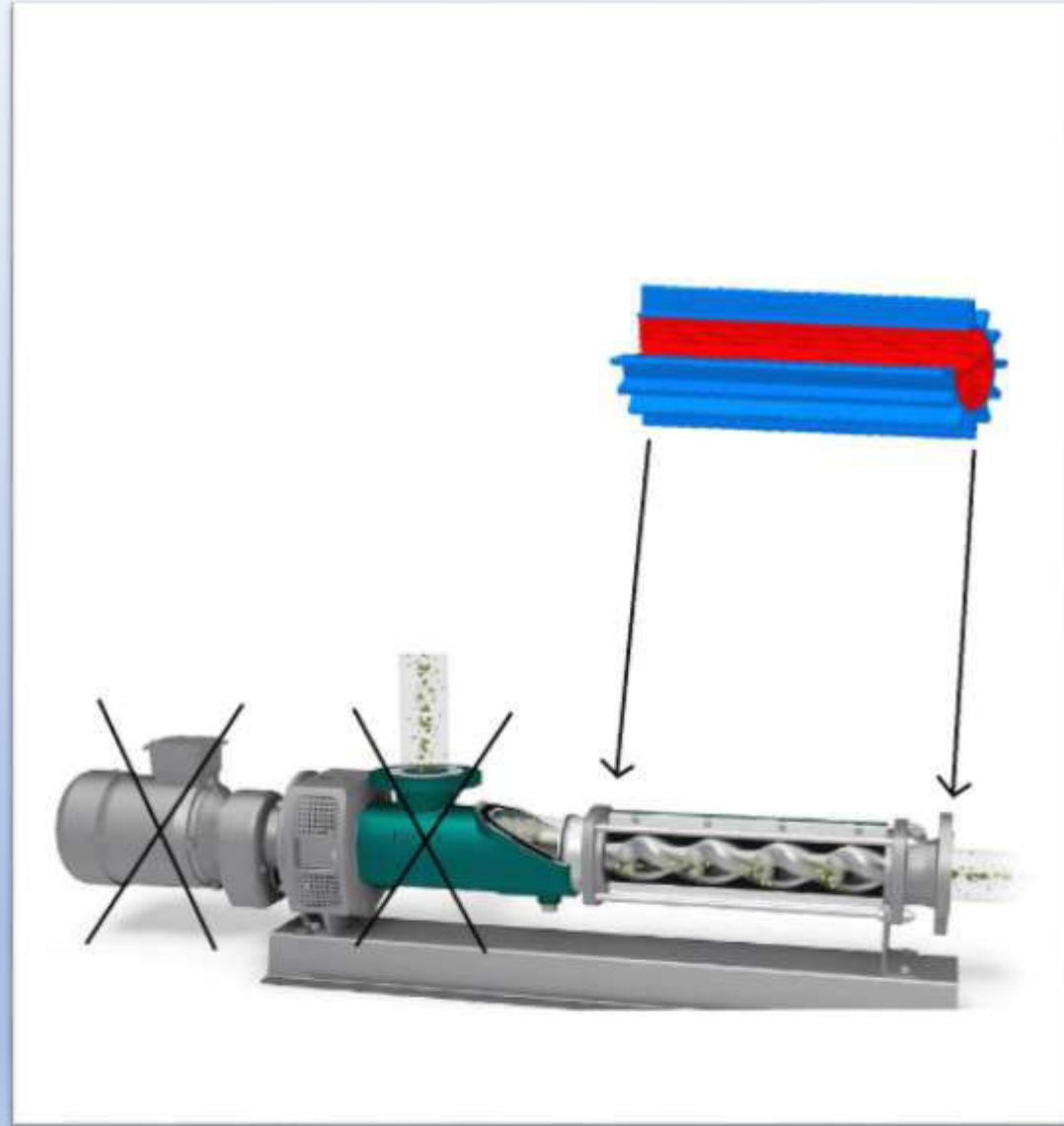


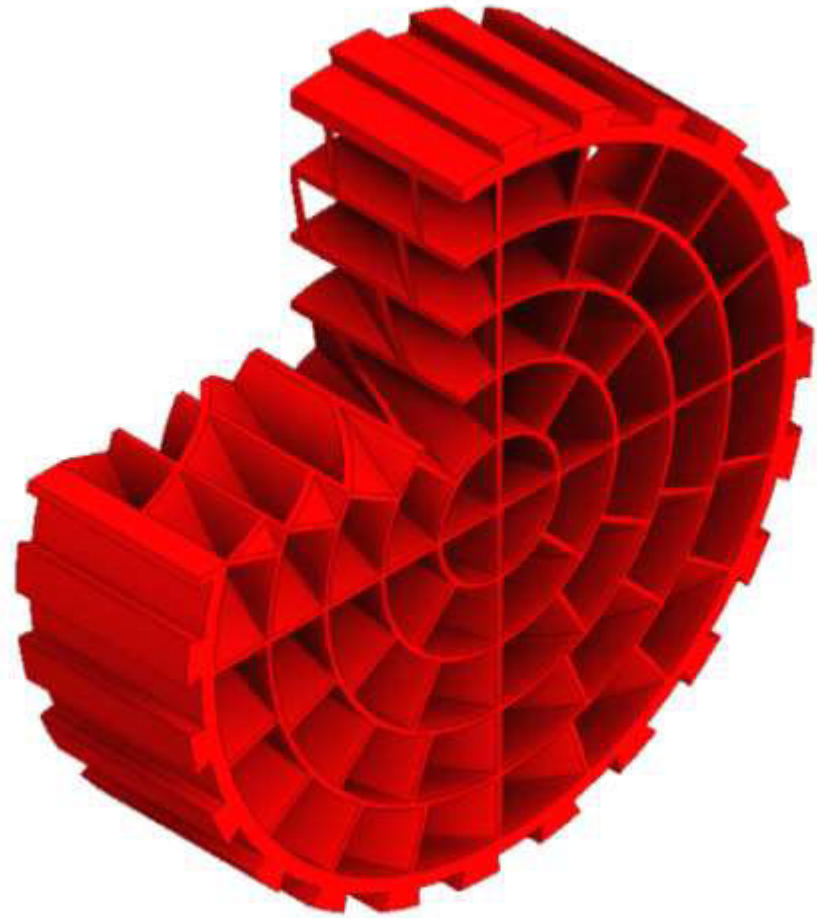
Pompe dosatrici

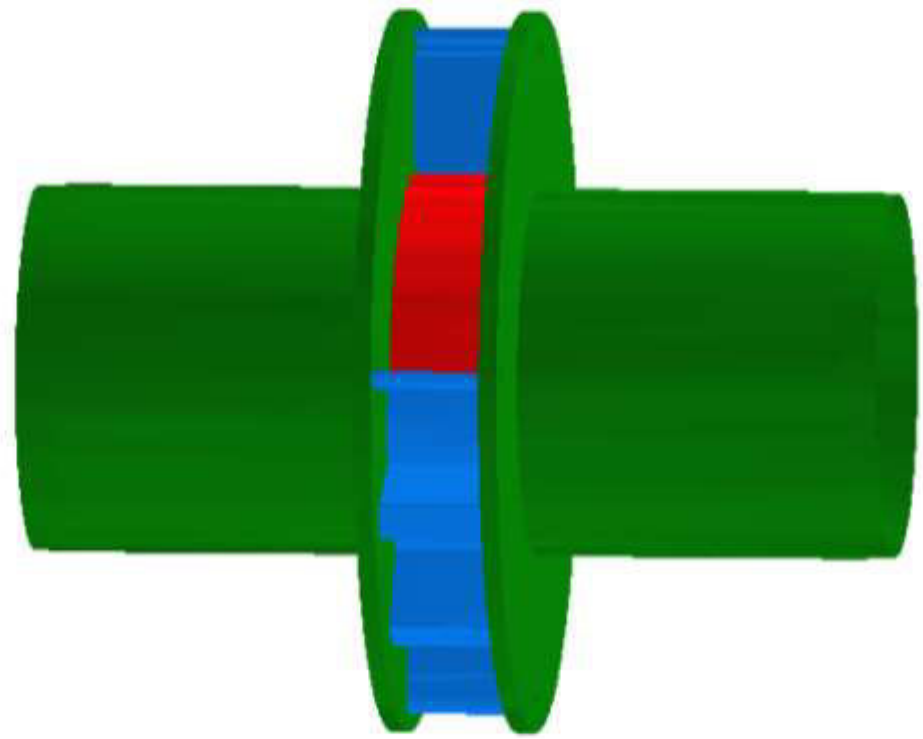


Pompe centrifughe









Grazie per
l'attenzione!



UNIVERSITÀ
DI PAVIA

FACOLTA' DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E
DELL'INFORMAZIONE
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA INDUSTRIALE

TITOLO:

ITEG: CARATTERISTICHE MECCANICHE E DI FUNZIONAMENTO E
POSSIBILE UTILIZZO NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE

Relazione discussa in sede di esame finale da: Nicolò Pelizza

Relatore: Prof. Stefano Farnè

Correlatore: Dott. Vito Lavanga

INDICE:

1. Introduzione	pag. 3
2. Caratteristiche meccaniche	pag. 5
2.1 Rotore	pag. 5
2.2 Statore	pag. 6
2.3 Testate	pag. 7
2.4 Assieme	pag. 8
2.5 Accorgimenti tecnici sui magneti	pag. 9
3. Modello matematico	pag. 12
3.1 Volume	pag. 12
3.2 Portata	pag. 16
3.3 Potenza	pag. 17
3.4 Rendimenti	pag. 19
3.5 Triangoli delle velocità	pag. 20
4. Analogia con la vite di Archimede	pag. 24
5. Funzionamento magnetico	pag. 26
6. Stampa 3D	pag. 29
7. Pompe nell'industria alimentare	pag. 31
7.1 Processi dell'industria alimentare	pag. 31
7.2 Confronto numerico	pag. 34
7.3 Pompe in commercio e confronto con ITEG	pag. 35
8. Conclusioni	pag. 48

Capitolo 1 - Introduzione

ITEG (integrated turbine electric generator) è un dispositivo in via di sviluppo, ideato e già brevettato dal Professor Stefano Farnè e dal Dottor Vito Lavanga. Essendo una macchina reversibile, possiede la caratteristica di saper conferire energia ad un fluido oppure di accumulare energia da un fluido, cioè svolgere rispettivamente le funzioni di pompa e turbina, a seconda di come lo si vuole utilizzare. Non è specifico per un'applicazione ma può essere utilizzato nella maggior parte dei processi che necessitano di una pompa o di una turbina, sia perché è economico e poco invasivo, sia per la facilità di installazione e la scarsa manutenzione che richiede essendo privo di ingranaggi, ma soprattutto, per la sua adattabilità di progetto.

Una vantaggiosa differenza dalle altre macchine di questa categoria che salta subito all'occhio osservando i dettagli costruttivi di ITEG è la sezione del rotore, che garantisce una massima superficie di intercettazione del fluido, dato che riempie interamente la superficie interna del condotto in cui è alloggiato senza presentare elementi strutturali che ne devierebbero il flusso che vi scorre, portando inoltre ad un'omogeneità di intercettazione. Invece di utilizzare delle pale come le più classiche pompe e turbine, l'energia viene data o ceduta al fluido mediante il contatto con le pareti dei condotti, che si avvolgono in modo elicoidale attorno all'asse di rotazione del rotore, e generano quindi il rotore stesso.

La miglior soluzione per l'equilibrio del rotore è tramite cuscinetti magnetici con magneti permanenti, in modo tale da evitare l'attrito, che genererebbe usura, ma anche surriscaldamento del fluido, che in alcune applicazioni può risultare dannoso.

La sua realizzazione avviene con il facile assemblaggio di pezzi ottenuti mediante stampante 3D, magneti al neodimio, bulloni e colla. Saranno poi necessari dei giunti a bicchiere per poter collegare le testate con la tubazione. Le parti meccaniche stampate in 3D che compongono ITEG sono: rotore, statore, testate.

Lo scopo della tesi è verificare le caratteristiche progettuali di ITEG, vedere in quali processi dell'industria alimentare può essere utilizzato, e

compararlo alle pompe tutt'oggi in utilizzo in tali processi. Inizialmente, verranno descritte le caratteristiche meccaniche di ITEG, poi verrà dedotto un modello matematico per ITEG, in modo tale da poter progettare il dispositivo in base alle caratteristiche energetiche e dimensionali di cui si necessita. Siccome la realizzazione di ITEG avviene mediante il processo industriale di stampa 3D, verrà brevemente spiegato questo processo, e verrà scelto il materiale con cui verrà realizzato il dispositivo in base al fluido che dovrà elaborare una volta messo in utilizzo. Verranno elencati alcuni processi dell'industria alimentare nei quali l'utilizzo di pompe è fondamentale, e vedremo in quali ITEG può essere sostituito ad una pompa classica. Verrà anche fatto un confronto tra le tipologie di pompe alimentari in commercio tutt'oggi e ITEG per elencare i suoi possibili vantaggi e il suo potenziale rispetto ad esse.

Capitolo 2 – Caratteristiche meccaniche

Rotore

Il rotore è il componente cilindrico rotante della macchina, il cui scopo è quello di intercettare il fluido che lambisce la sua stessa superficie, per poter effettuare uno scambio energetico con esso.

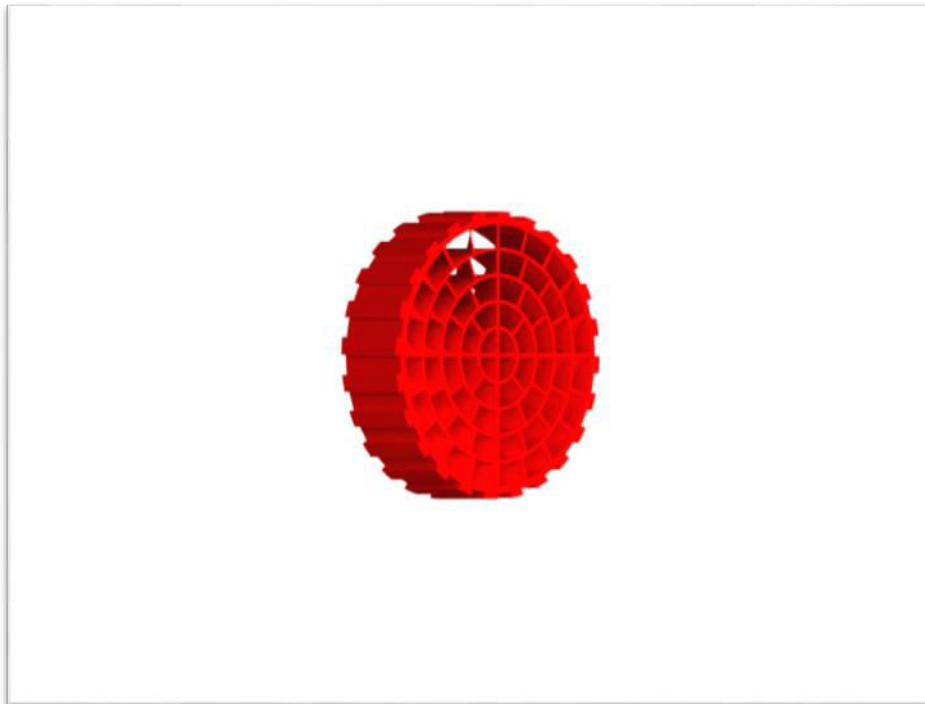


Figura 1

La superficie occupata dalle bocche d'ingresso dei condotti si estenderà radialmente sulla superficie del rotore fino a coincidere con quella della tubazione in cui verrà installato, per fare in modo che tutto il fluido venga intercettato ed elaborato. Sulla superficie esterna cilindrica saranno presenti degli incavi a coda di rondine dove sarà possibile posizionare e incollare i magneti permanenti precedentemente polarizzati, che hanno una duplice funzione, quella di generare il campo magnetico permanente per la levitazione del rotore, e quella di agire come magnete intermedio dei cuscinetti magnetici.

Il rotore non presenta organi di fissaggio, ma essendo immerso in un campo magnetico galleggia in aria. Sarà però racchiuso, a meno di un

minimo gioco tra le parti, tra lo statore e le due testate, in modo da evitare possibili traslazioni che lo porterebbero fuori asse e quindi fuori dal campo magnetico. Ovviamente, il campo magnetico è sufficiente per non generare attrito contro lo statore, invece, per non generare attrito contro le testate, saranno presenti due magneti toroidali, uno per testata, posizionati in modo da essere sovrapposti ai magneti permanenti sul rotore, polarizzati con lo stesso verso, per possedere la capacità di respingerli e tenere a distanza il rotore dalle testate.

Il rotore è forato da tanti piccoli condotti elicoidali. La sezione d'entrata dei condotti può essere progettata con qualsiasi forma in base al fluido da elaborare, tenendo i tramezzi tra un condotto e l'altro dimensionalmente più irrilevanti possibili. La loro lunghezza, diversa in base alla distanza radiale a cui ci troviamo, sarà invece stabilita in base alla potenza che vogliamo dare o ricevere dal fluido, ponendo però attenzione alla sua viscosità, che, se troppo elevata, porterebbe all'ostruzione dei condotti se progettati troppo lunghi o sottili. Sottigliezza che però è fondamentale per evitare turbolenze in uscita, quindi si progetteranno condotti quanto più sottili possibili nel limite della viscosità del fluido che si andrà ad elaborare. Inoltre, lo spessore dei tramezzi tra un condotto e l'altro sarà il più sottile possibile per ottimizzare l'intercettazione.

Statore

Lo statore è la parte fissa della macchina. Formato da un cilindro cavo, con delle propagazioni radiali che serviranno come supporti per inserire gli avvolgimenti, e per fissarlo alle due testate mediante bulloni.

Esso è progettato dimensionalmente in modo da contenere perfettamente il rotore a meno di una piccolissima tolleranza di misura per potergli garantire la rotazione. Progettualmente, il suo diametro interno è leggermente più ampio del diametro esterno del rotore, come la sua profondità, leggermente più ampia di quella del rotore, per ridurre al minimo le perdite di fluido che si incanala nei margini esterni del rotore, dato che lo racchiude.

Tra le propagazioni radiali verranno inseriti i lamierini ferromagnetici, mentre su parte di esse verrà ancorato il filo conduttore che si allungherà poi sui lamierini, in modo tale che quando circherà corrente nel filo, il campo magnetico generato dall'elettromagnete sarà potenziato per la presenza dei lamierini a contatto con il filo.

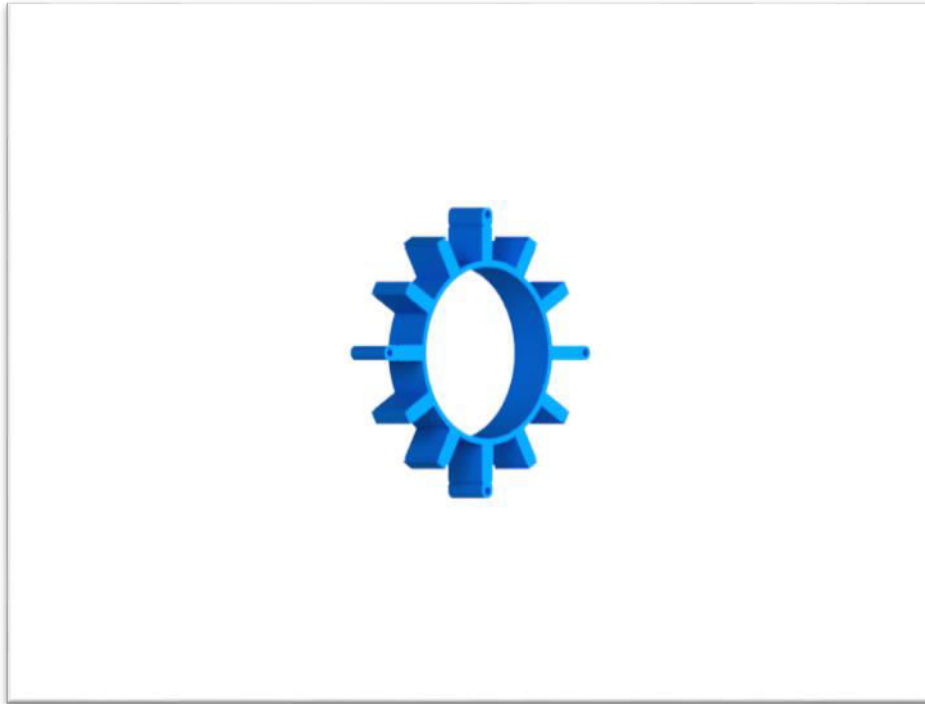


Figura 2

Siccome lo statore rappresenta il circuito indotto, o induttore, a seconda del verso della corrente, è bene che sia isolato dal fluido, che nella maggior parte dei casi è un conduttore. Per isolarlo è possibile utilizzare del materiale plastico di opportuno spessore, in modo tale che il fluido, non potendo attraversare questo materiale, non entri in contatto con lo statore. Se invece, come più ovvio, è progettato in materiale plastico, non ci saranno problemi.

Testate

Servono a racchiudere il rotore e a mantenerlo in posizione tramite dei magneti toroidali posizionati e incollati in cavità circolari su di esse, magneti che rappresentano i magneti esterni del cuscinetto, e sono

posti ad una distanza dal centro tale da essere sovrapposti polarmente ai magneti del rotore, e poterli respingere, data l'ugual polarizzazione.

Più esternamente presentano dei fori, i quali saranno allineati a quelli dello statore, per poi bloccare il tutto tramite bulloni. Inoltre, esse si allungano in quello che è l'innesto da inserire nel tubo tramite un giunto a bicchiere.

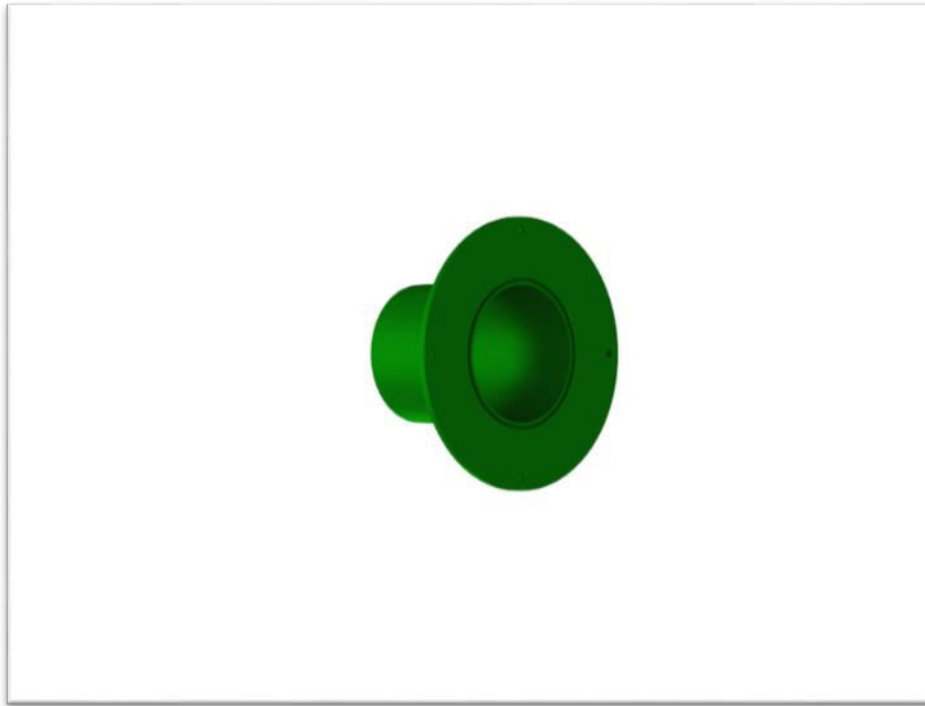


Figura 3

Devono essere realizzate in materiale isolante, per evitare che lo statore, essendo a contatto con esse, possa disperdere corrente se non perfettamente isolato. Oltretutto, l'interazione tra il campo magnetico rotante e le testate, genererebbe correnti parassite dovute al movimento relativo dei magneti rispetto alle testate, se quest'ultime fossero conduttrici, con la conseguente dispersione di energia.

Assieme

Protagonista è il rotore, pronto a svolgere il suo compito di scambio energetico con il fluido. Esso è racchiuso radialmente dallo statore, fissato a sua volta alle testate, che racchiudono assialmente il rotore

una volta che tutte le semplici componenti meccaniche sono assemblate. In figura 4 si vede il tutto, in assenza di magneti e bulloni.

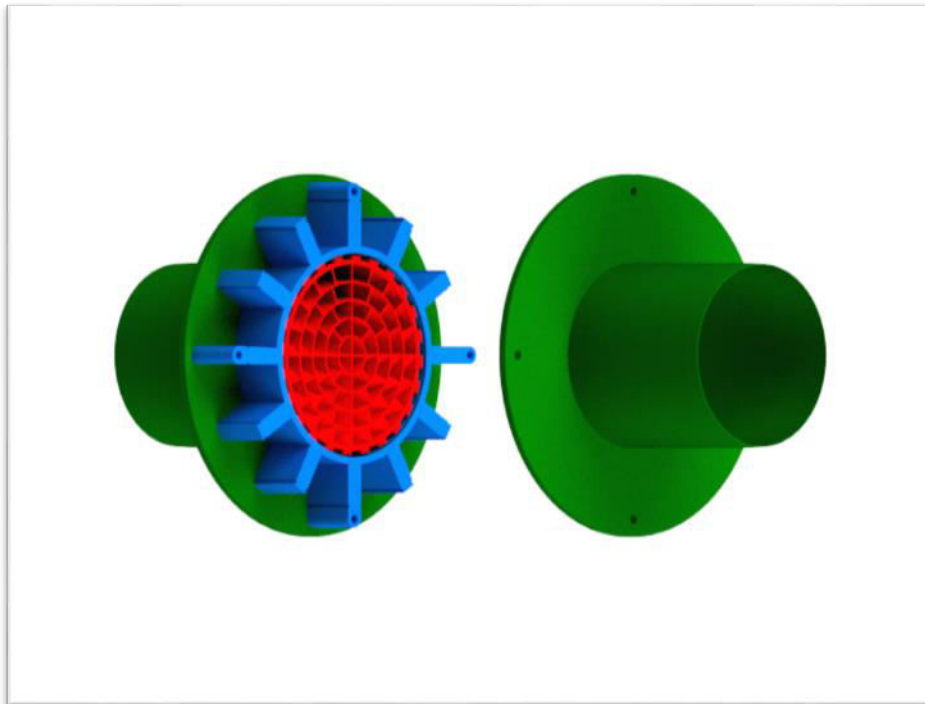


Figura 4

Accorgimenti tecnici sui magneti

I magneti utilizzati possono essere al neodimio, per le elevate caratteristiche magnetiche di questa lega.

Essi vengono incastrati sulla superficie radiale più esterna del rotore, che possiede un profilo a coda di rondine, come mostrato in figura 5, per evitare che durante la rotazione, a causa della forza centrifuga, abbandonino la loro sede. Questo tipo di incastro garantisce un buon ancoraggio alla superficie del rotore ed evita l'utilizzo di organi meccanici di fissaggio che possono rappresentare un punto debole per l'integrità e per l'efficienza della macchina. Con questa tecnica l'unico accorgimento a cui bisogna porre particolare attenzione è l'esagerata variazione di temperatura nel processo, perché per via dei differenti coefficienti di dilatazione termica dei materiali, può aumentare pericolosamente il gioco nel sistema di fissaggio se la temperatura si abbassa bruscamente; al contrario, se la temperatura aumenta troppo si

avrà un'elevata dilatazione termica che potrà provocare crepe nel rotore, con la sua conseguente rottura. Inoltre, per una maggior sicurezza si può completare il fissaggio con della colla, per impedire ai magneti di sfilarsi dal suo alloggiamento. L'utilizzo di questa, oltre ad assicurare il fissaggio dei magneti, attutisce gli urti, ottima caratteristica data la non ottimale resilienza dei magneti al neodimio.

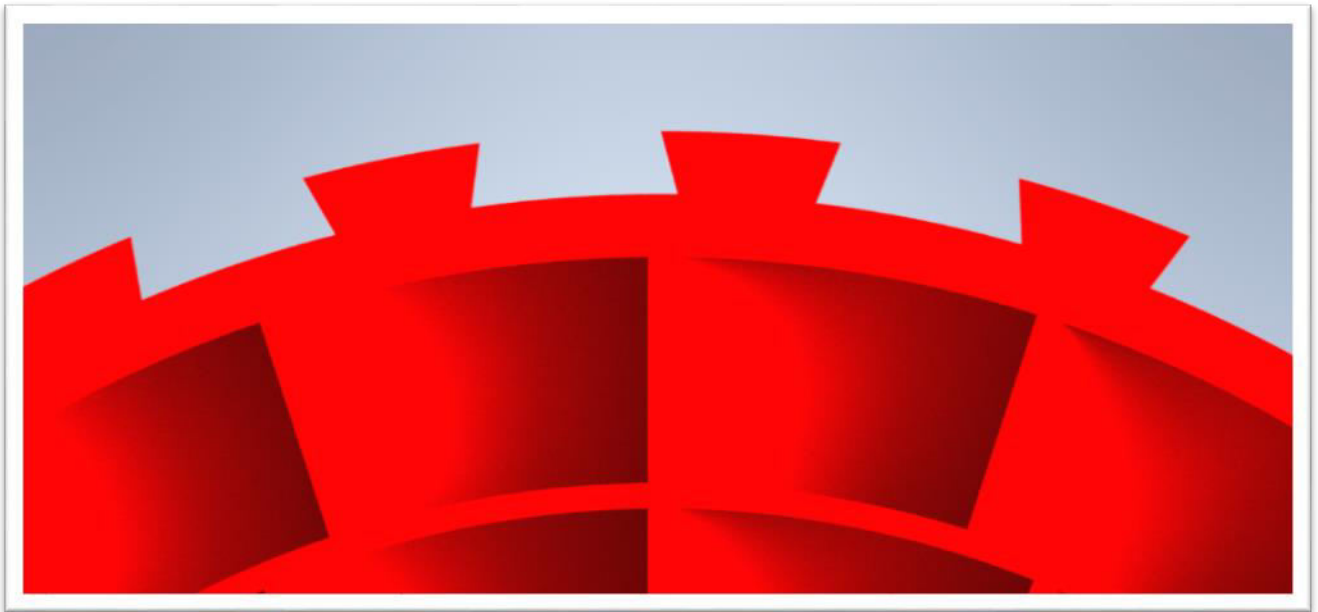


Figura 5

Altri magneti, sempre al neodimio, saranno alloggiati e incollati in apposite cavità nelle testate (figura 6). Siccome servono come reggispira, si è pensato a magneti toroidali, in modo da poter reggere la spinta in modo equilibrato. Essi inoltre, essendo allineati su entrambe le testate e avendo stesso verso di polarizzazione, si manterranno in posizione.



Figura 6

Di seguito alcune caratteristiche dei magneti al neodimio, rese note sul sito calamite.org.

Essi sono costituiti da una lega di boro, ferro e neodimio. Questa lega è fortemente magnetica, il suo colore naturale è argenteo, e l'unico difetto che possiede è quello di avere una resilienza piuttosto bassa. Esistono magneti al neodimio di diversi gradi: il grado è un codice che inizia sempre con la lettera N ed è seguito da due cifre (per esempio N30, N33, N35, N38, N40, N42, N45, N48, N50). Esso sta ad indicare il prodotto d'energia. I gradi più bassi hanno meno forza attrattiva e repulsiva, i gradi più alti hanno forze maggiori. In commercio esistono magneti con gradi compresi tra N24 e N55, tuttavia i gradi superiori a N52 non sono facilmente reperibili. In laboratorio si è arrivati alla creazione di magneti di grado massimo N56, anche se N64 è il limite teorico.

Per far capire il perché vengono scelti magneti al neodimio, basti pensare che la loro forza attrattiva può essere 20 volte superiore a quella posseduta dai più classici magneti in ferrite, pur non avendo una differenza di prezzo così accentuata.

Capitolo 3 - Modello matematico

Per poter usufruire e sfruttare al massimo le potenzialità di questo dispositivo, ho elaborato delle equazioni generali per rotor costruttivamente simili tra loro. La loro peculiarità sta nel fatto di avere la sezione dei condotti con ugual forma a quella da me progettata. Se consideriamo la sezione di entrata del fluido nel rotore, essa deve essere suddivisa in corone circolari, suddivise radialmente a loro volta da propagazioni radiali. Ovviamente, le dimensioni di queste geometrie possono essere varie. L'obiettivo che mi sono posto è quello di conoscere l'equazione della portata, passo intermedio tra le equazioni per il calcolo delle potenze e le caratteristiche costruttive del rotore. Si parte con l'equazione del volume di fluido elaborato dal rotore.

Volume

Il primo step per arrivare all'equazione della portata è quello di trovare il volume in m^3 occupato dal fluido all'interno del rotore.

Guardando frontalmente il rotore e considerando la sezione di ingresso del fluido, che sarà pari a quella della tubazione, è necessario sottrarre da questa sezione l'area occupata dalle pareti che separano i condotti. Questa può risultare praticamente nulla se lo spessore delle pareti che separano i condotti è progettato nell'ordine delle decine di micron, dimensione realizzabile tranquillamente con la maggior parte delle stampanti 3D professionali.

Partendo dall'equazione generale del volume, sono poi andato a specificare nel dettaglio i termini nel mio caso costruttivo. La formula di base è:

$$V = S * L$$

Dove S rappresenta la sezione disponibile per il passaggio del fluido all'interno del rotore. L, invece, rappresenta la lunghezza del rotore, intesa come profondità.

Arrivati fin qui bisogna fare però un appunto: i condotti sono elicoidali, e quindi la loro lunghezza sarà sempre e comunque maggiore della lunghezza del rotore, però, se immaginassimo il rotore sezionato infinite volte perpendicolarmente al suo asse di rotazione, vedremmo che in ogni sezione l'area disponibile per il passaggio del fluido (S) sarà sempre la medesima della sezione di ingresso, essendo i condotti a sezione costante; quindi per trovare il volume occupato dal fluido nel rotore immaginiamo di sommare tutte queste infinite sezioni, che di seguito una all'altra saranno lunghe quanto la profondità del rotore. Le seguenti figure chiariranno questo ragionamento.

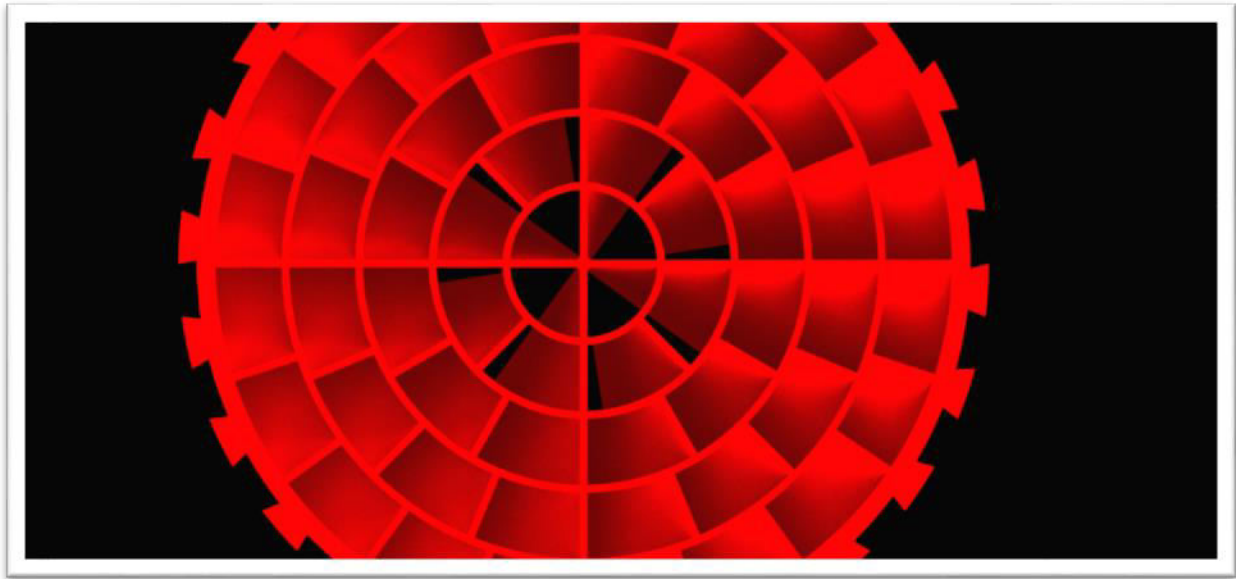


Figura 7

La figura 7 rappresenta la sezione di ingresso che ha a disposizione il fluido. Considerando la sezione della tubazione, pari alla sezione della circonferenza che contiene tutti i condotti, l'area disponibile per il passaggio di fluido è 90% del totale nel rotore in figura, e, per sottrazione, l'area occupata dai tramezzi tra un condotto e l'altro è 10% del totale.

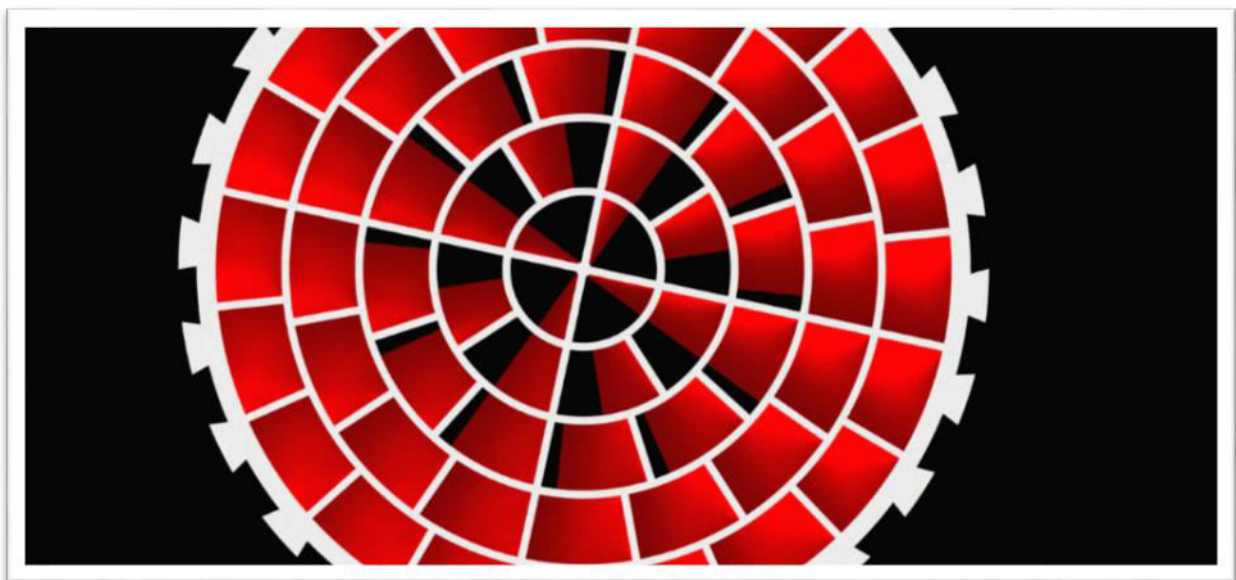


Figura 8

La figura 8 invece rappresenta la sezione del rotore presa a 10 mm di profondità. Quello che è importante notare, è che l'area occupata dai tramezzi dei condotti è la medesima che nella sezione di ingresso, e vale 10% dell'area della tubazione.

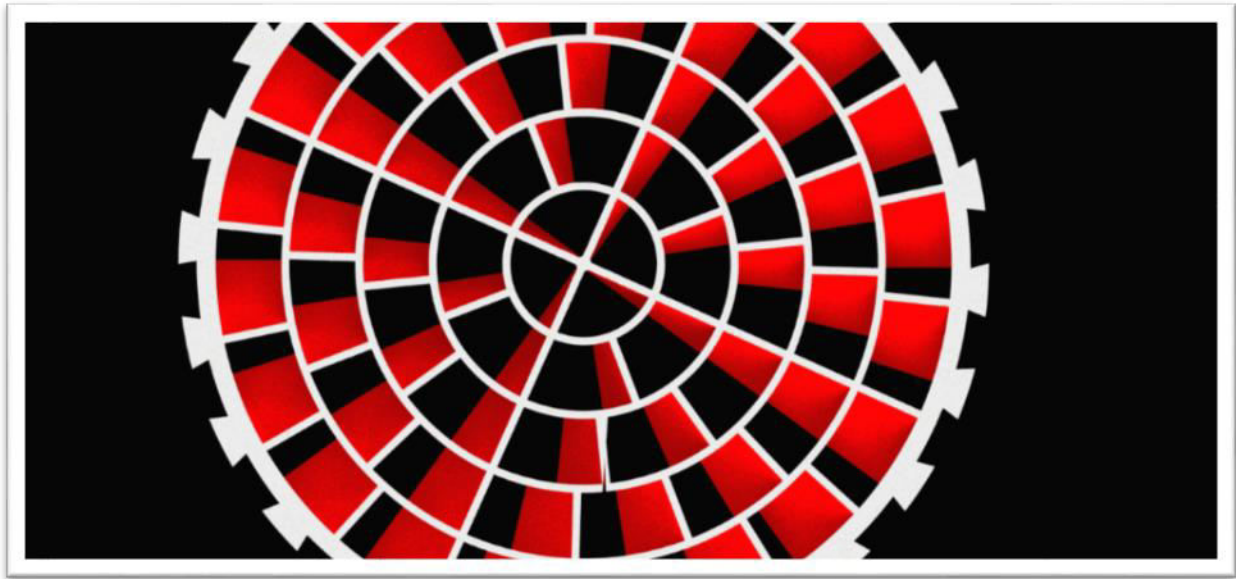


Figura 9

La figura 9, infine, rappresenta la sezione del rotore presa a 20 mm di profondità. Anche qui, l'area occupata dai tramezzi dei condotti vale 10% dell'area della tubazione. Quindi possiamo concludere che la sezione disponibile dal fluido all'ingresso del rotore va moltiplicata per la profondità del rotore.

Se ancora non si è convinti di questo concetto, ho elaborato un'ulteriore spiegazione a cui porre attenzione. Guardando la figura 10, in cui in primo piano abbiamo il volume interno del rotore disponibile al passaggio del fluido nel caso in cui i condotti non fossero elicoidali, e quindi il loro volume sarà semplicemente calcolato come area moltiplicata per la lunghezza del rotore; mentre in secondo piano vediamo il volume interno del rotore disponibile al passaggio del fluido nel caso in cui i condotti fossero elicoidali; possiamo notare come il volume occupato sembri uguale. Infatti, se con Inventor calcoliamo il volume dei solidi, andando sulle proprietà fisiche del modello, noteremo che è esattamente lo stesso, e nel rotore progettato da me è pari a 200093 mm^3 , che equivalgo a circa 0.2 l, cioè 0.0002 m^3 . Quindi, vale l'equazione per il volume sopra citata.

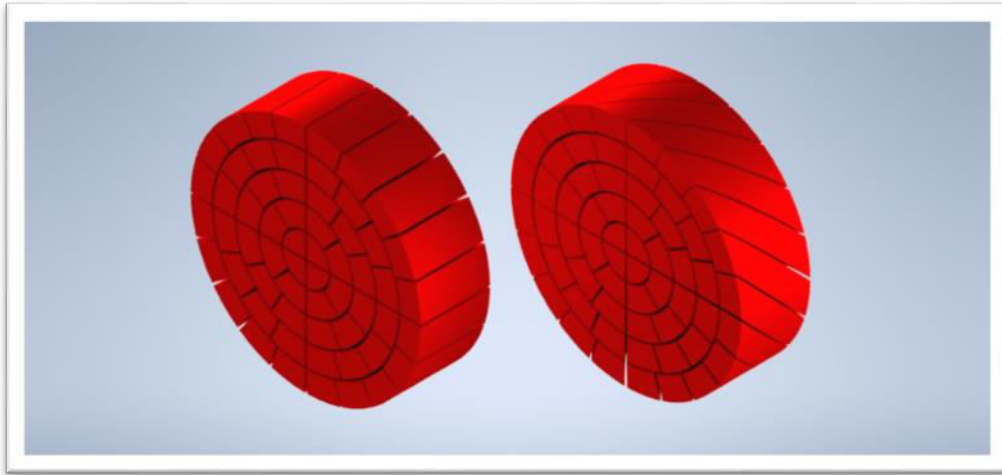


Figura 10

L'equazione per trovare il valore di S risulta:

$$S = R^2 * \pi - \sum_{i=1}^n \{ [(R_i \max^2 - R_i \min^2) * \pi] + \sum_{j=1}^k [(R_{i+1} \min - R_i \max) * s] \}$$

In pratica si calcola l'area della sezione della tubazione ($R^2\pi$) a cui andrà sottratta l'area occupata dalla sezione delle pareti dei condotti del rotore. Quest'ultima, per rotori progettati costruttivamente simili a quello in tesi, non sarà altro che l'area delle sezioni circolari che dividono i condotti, sommata all'area delle propagazioni radiali aventi anch'esse la funzione di dividere i condotti.

Entrando più nel dettaglio: con la prima sommatoria che compare si considera uno ad uno ogni sezione circolare che divide i condotti (conteggiate con l'indice n), iniziando dalla più piccola, che è una circonferenza (e quindi $R_{1\min} = 0$) e se ne calcola l'area. Calcolata l'area di una sezione circolare, si va a sommare l'area di tutte le propagazioni radiali che dividono i condotti appena esterni alla sezione circolare di cui si è appena calcolata l'area, questo per merito della seconda sommatoria. Nella seconda sommatoria infatti si sommano tutti i contributi delle aree delle propagazioni radiali (conteggiate con l'indice k, che ripartirà da 0 ad ogni iterazione di n), che verranno calcolate come il raggio più piccolo della sezione circolare di indice successivo della prima sommatoria, a cui si sottrae il raggio più grande della corona circolare di cui si è appena calcolata l'area, il tutto moltiplicato per lo spessore di questo raggio.

Importante da notare sono le parentesi, che includono la seconda sommatoria all'interno di ogni iterazione della prima sommatoria, siccome per ogni anello si considerano le propagazioni radiali esterne ad esso.

Portata

Trovato il volume, si passa alla determinazione dell'equazione della portata Q espressa in m^3/s .

Mi sono ispirato all'equazione del calcolo della portata per una pompa volumetrica ad eccentrico, che, se pur funzionante in modo differente da ITEG, possiede, come esso, una correlazione tra numero di giri e volume di fluido elaborato. L'equazione della portata è:

$$Q = V * \frac{n}{60}$$

Dove V rappresenta il volume di fluido elaborato all'interno della pompa in un giro dell'eccentrico, mentre n è il numero di giri al minuto dell'eccentrico.

In pratica la portata è calcolata come il volume elaborato dalla pompa in un giro moltiplicato per il numero di giri nell'unità di tempo. Per ITEG, la formula è analoga, con l'aggiunta di un termine.

Quest'ultimo è dovuto al seguente fatto: in analogia con la pompa volumetrica che ad un giro dell'eccentrico elabora la quantità di fluido al suo interno, ITEG ad un giro del rotore elabora la quantità di fluido che alloggia in un'elicoide completa, a meno del coefficiente di regresso che riteniamo unitario. Siccome però, viene calcolato il volume di fluido nel rotore, che non è detto che contenga condotti per l'intera lunghezza di un passo, dobbiamo aggiungere un termine che è rappresentato dall'unità frazionata dalla percentuale del passo che hanno i condotti all'interno del rotore $1/\lambda$.

Ad esempio, se nel rotore i condotti compiranno due passi, ovvero $\lambda=2$, significa che ad un giro completo di ITEG verrà espulsa la metà del volume contenuto (che permanendo il doppio, subirà una maggiore azione di trasduzione energetica e quindi maggiore densità di energia per volume procapite. Questo significa che più passi nel rotore il fluido

compirà, più aumenta la quantità di energia nello scambio energetico tra rotore e fluido). Di contro se i condotti percorrono una frazione di passo all'interno del rotore, per esempio pari a metà del passo, $\lambda=1/2$, ad una rotazione verrà espulso due volte il volume di fluido contenuto nel rotore, che equivale alla quantità di fluido che sarebbe contenuta in un passo. Quindi, l'equazione della portata risulta:

$$Q = V * \frac{n}{60} * \frac{1}{\lambda}$$

Potenza

A seconda dell'utilizzo di ITEG, come pompa o come turbina, la potenza varia la sua equazione. Anche se questa variazione è semplicemente dovuta alla posizione del rendimento globale in essa.

Se ITEG viene utilizzato come pompa, avremo una potenza utile ed una potenza assorbita. La pompa assorbe una potenza in energia elettrica e la trasforma in energia meccanica da trasferire al fluido, che quindi riceverà una potenza utile, e durante questo processo entra in gioco il rendimento globale della macchina, che va a diminuire sensibilmente il valore della potenza assorbita, che verrà quindi chiamata potenza utile.

$$Nu = Q * H * \gamma \text{ [kgf m/s]} \quad Nu = \frac{Q * H * \gamma}{102} \text{ [kW]}$$

Dove:

- Q è la portata che passa nel rotore espressa in [m³];
- H è la prevalenza che la pompa deve fornire, cioè il dislivello che deve andare a superare espresso in [m];
- γ è il peso specifico del fluido in gioco, espresso in [kgf/m³] nel primo caso, e in [N/m³] nel secondo.

$$Na = \frac{Nu}{\eta} \text{ [kgf m/s]} \text{ [kW]}$$

Dove il rendimento globale della macchina η è adimensionale e inferiore all'unità, rendendo sensata l'equazione che enuncia che la pompa dovrà assorbire più potenza di quella che trasmetterà al fluido per via delle perdite nella macchina.

Se ITEG viene utilizzato come turbina, avremo una potenza effettiva della turbina e una potenza teorica. Il fluido possederà una potenza teorica da cedere sotto forma di energia meccanica alla turbina, cosicché generi energia elettrica e si possa assorbire la potenza effettiva, al netto delle perdite di energia che ci saranno nel rotore, e durante questo processo entra in gioco il rendimento globale della macchina, che va a diminuire sensibilmente il valore della potenza teorica, che verrà quindi chiamata potenza effettiva.

$$N_t = Q * H * \gamma \text{ [kgf m/s]} \quad N_t = \frac{Q * H * \gamma}{102} \text{ [kW]}$$

Dove:

- Q è la portata che passa nel rotore espressa in [m³];
- H è la prevalenza del fluido, cioè il dislivello che compie prima di entrare in turbina, espresso in [m];
- γ è il peso specifico del fluido in gioco, espresso in [kgf/m³] nel primo caso, e in [N/m³] nel secondo.

$$N_e = N_t * \eta \text{ [kgf m/s]} \text{ [kW]}$$

Dove il rendimento globale della macchina η è adimensionale e inferiore all'unità, rendendo sensata l'equazione che ci dice che la turbina assorbirà meno potenza di quella che il fluido le trasmetterà, per via delle perdite nella macchina.

Rendimenti

Si è parlato di rendimento globale della macchina η e seppur ci sono anche altri rendimenti in un processo che comprende una pompa o una turbina, a noi interessano solamente il rendimento causato dalla dispersione di energia della macchina. Il rendimento globale può essere scomposto da 3 rendimenti, che sono: rendimento idraulico η_i , rendimento volumetrico η_v , rendimento meccanico η_m .

Il rendimento idraulico tiene conto delle dissipazioni di energia dovute ad urti e deviazioni del fluido nella macchina. Di particolare importanza per stimare il rendimento idraulico sono gli aforismi idraulici che enunciano:

- l'ingresso del fluido nella macchina deve avvenire in modo tale da ridurre al minimo gli urti del fluido contro le pareti della macchina;
- la velocità in uscita dalla macchina deve avere il minimo valore compatibile con il funzionamento di essa.

Nel realizzare il rotore di ITEG, grazie alla sua adattabilità di progetto, si può facilmente tener conto di questi aforismi per ottenere il rendimento idraulico più elevato possibile.

Il rendimento volumetrico tiene conto del fluido che entra nella macchina ma non viene elaborato. Per come è costituito ITEG, solo una parte minima di fluido può non essere elaborato perché finisce nell'intercapedine tra rotore e statore. Quindi il rendimento volumetrico è assimilabile pari a 1.

Il rendimento meccanico tiene conto degli attriti tra gli organi meccanici della macchina. Nel caso di ITEG, essendoci cuscinetti magnetici, se essi sono ben progettati gli attriti meccanici sono inesistenti. Quindi il rendimento meccanico è assimilabile a 1.

Sicuramente il rendimento che più va ad impattare sull'efficacia della macchina è quello idraulico. Vediamo, attraverso i triangoli di velocità, come rispettare al meglio gli aforismi idraulici.

Triangoli di velocità

Il rotore è progettato in modo da avere passo costante in tutti i condotti da cui è formato, in modo da avere un flusso omogeneo. Questo significa che, se in contemporanea entrano due particelle nel rotore, in condotti che hanno distanze radiali diverse, esse usciranno dal rotore nello stesso istante.

Questo fatto espone un problema: avendo passo costante, i condotti, da quelli più interni a quelli più esterni, avranno lunghezza sempre maggiore. Sappiamo che abbiamo una correlazione tra giri del rotore e avanzamento del fluido nel condotto: ad un giro del rotore corrisponde un avanzamento del fluido pari alla lunghezza di un passo nel condotto,

qualunque lunghezza esso abbia. Quindi si intuisce che se abbiamo una particella di fluido all'ingresso di un condotto della corona più esterna che entra nello stesso istante di una particella di fluido all'ingresso di un condotto della corona più interna, le particelle dovendo uscire nello stesso istante dal rotore, dato il passo costante, avranno sicuramente velocità relative diverse. La particella che percorre il condotto più esterno avrà sicuramente velocità relativa maggiore rispetto alla particella che percorre il condotto più interno. Siccome stiamo parlando di velocità relativa, facciamo ulteriore chiarezza andando a vedere che velocità ci sono in gioco.

Il rotore possiede una velocità di rotazione propria, e il fluido nella tubazione, che andrà a lambire la sezione di ingresso del rotore, possiede a sua volta una propria velocità che per semplicità ipotizziamo sia perpendicolare alla superficie di ingresso del fluido del rotore. Quindi il sistema studiato è caratterizzato da un doppio sistema di riferimento. Il riferimento assoluto descrive come si muove l'acqua rispetto all'intero sistema che comprende tubazione e ITEG. Il secondo è quello relativo che descrive come si muove l'acqua all'interno del rotore dato che esso gira ad una certa velocità. Ci affidiamo alle classiche formule della fisica che enunciano:

$$V_{\text{assoluta}} = V_{\text{relativa}} + V_{\text{trascinamento}}$$

Per semplicità, come usuale nello studio delle macchine idrauliche, definiamo "c" come V_{assoluta} , "v" come V_{relativa} e "u" come $V_{\text{trascinamento}}$. Risulta quindi:

$$c = v + u$$

Assumiamo come velocità assoluta c (nera) la velocità dell'acqua in entrata nel rotore e la velocità che l'acqua possiede all'uscita del rotore. La velocità assoluta è la composizione vettoriale data dalla somma dei vettori v (verde) e u (giallo). La velocità relativa, v, è la velocità che l'acqua possiede all'interno dei condotti considerando un sistema di riferimento solidale al rotore. La velocità di trascinamento u è la velocità tangenziale alla sezione del rotore legata alla velocità di rotazione. I triangoli di velocità presi per semplicità nei condotti più esterni sono mostrati in figura 11.

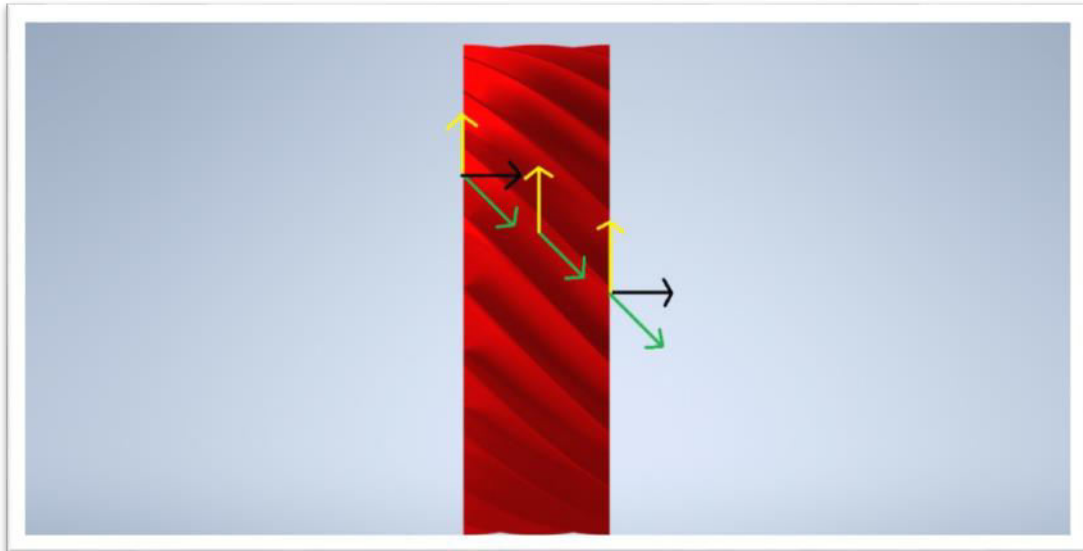


Figura 11

Poiché il fluido arriva con la stessa velocità assoluta c su tutta la superficie del rotore, si potrebbe pensare che, percorrendo lunghezze diverse, i tempi di attraversamento sarebbero diversi, con squilibri nella portata. In realtà bisogna ragionare in termini di velocità relative. Infatti, ad ogni corona di condotti di diverso diametro cambierà il triangolo delle velocità, pur rimanendo c costante, dato che sappiamo che la velocità assoluta in uscita sarà sicuramente uguale alla velocità assoluta in entrata, siccome vale l'equazione di continuità della portata per ogni condotto:

$$Q = A_{\text{condotto}} * c$$

E siccome i condotti hanno sezione costante, la velocità assoluta dell'acqua entro essi si manterrà costante, ad ogni distanza radiale. Cambia però come sopra accennato la velocità relativa a mano a mano che ci si avvicina all'asse di rotazione, e questo cambiamento è dovuto al fatto che la composizione vettoriale di v risulta:

$$v = c - u$$

Ma se c è costante, vuol dire che deve variare u . Infatti, la velocità di rotazione aumenta con l'aumentare della distanza radiale a cui ci si trova nel rotore, e lo si evince dal suo legame con la velocità angolare ω :

$$u = \omega * r$$

Con $\omega = 2\pi n/60$ che rimane sempre costante, essendo n costante ad ogni distanza radiale.

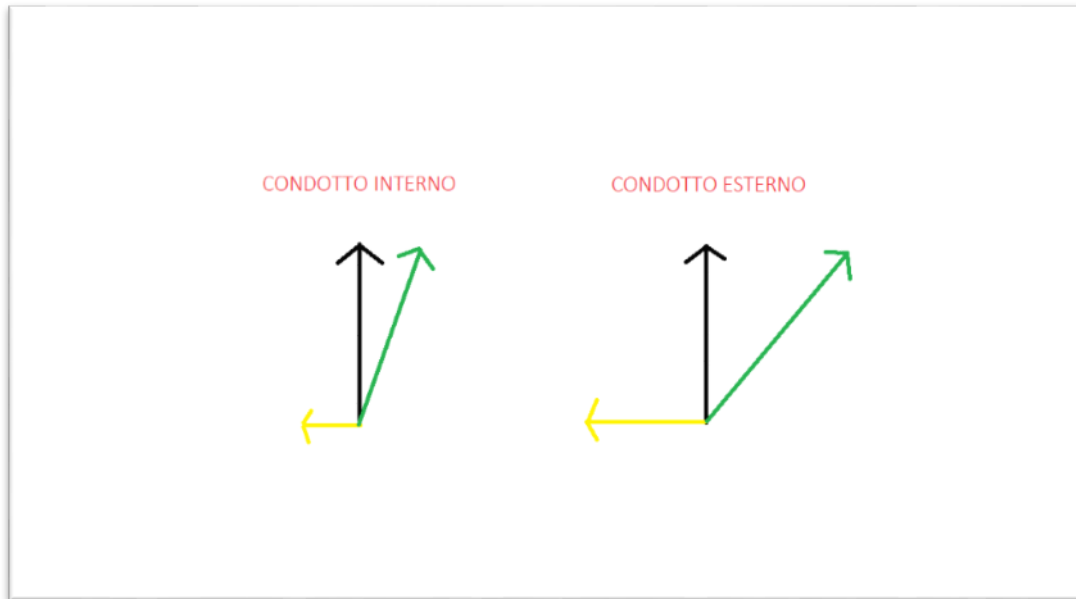


Figura 12

La direzione di v dovrà essere parallela alla parete del condotto per far funzionare al meglio il rotore, sia se utilizzato come pompa sia se utilizzato come turbina. Dall'immagine 12 si vede come v è maggiormente inclinata nei condotti più esterni, dato che la loro torsione è maggiore rispetto a quella nei condotti più interni. Inoltre, si vede come u nei condotti più esterni sia maggiore, come sopraccitato.

Dopo questo ragionamento possiamo dire che per assicurarci velocità assolute uguali in tutti i condotti abbiamo due parametri da poter far variare:

- il numero di giri n , con il quale varierà u ;
- l'inclinazione dei condotti, con la quale varierà v ;

Ovviamente la cosa più semplice è variare il numero di giri n , siccome l'inclinazione dei condotti la si decide al momento della progettazione.

In conclusione, per rispettare il primo aforisma idraulico abbiamo visto come v all'ingresso (e per tutta la lunghezza del condotto) sia parallela alla parete del condotto; mentre per rispettare il secondo aforisma idraulico il più possibile dobbiamo avere v in uscita che non abbia un valore troppo elevato; lo si regola con l'inclinazione dei condotti, oppure tenendo sotto controllo il numero di giri per contenere u . Quindi se ITEG viene correttamente dimensionato il rendimento idraulico non causerà perdite di energia superiori a 10%. Oltre a questo, si è dimostrato come

c sia uguale all'uscita di ogni condotto per evitare disomogeneità del flusso.

Capitolo 4 – Analogia con la vite di Archimede

Nello studio del funzionamento meccanico di ITEG, si evince una particolare analogia con la vite di Archimede, semplicemente detta coclea.

La prima analogia sta nel fatto che sia ITEG che la coclea sono macchine idrauliche reversibili assiali. Entriamo più nel dettaglio.

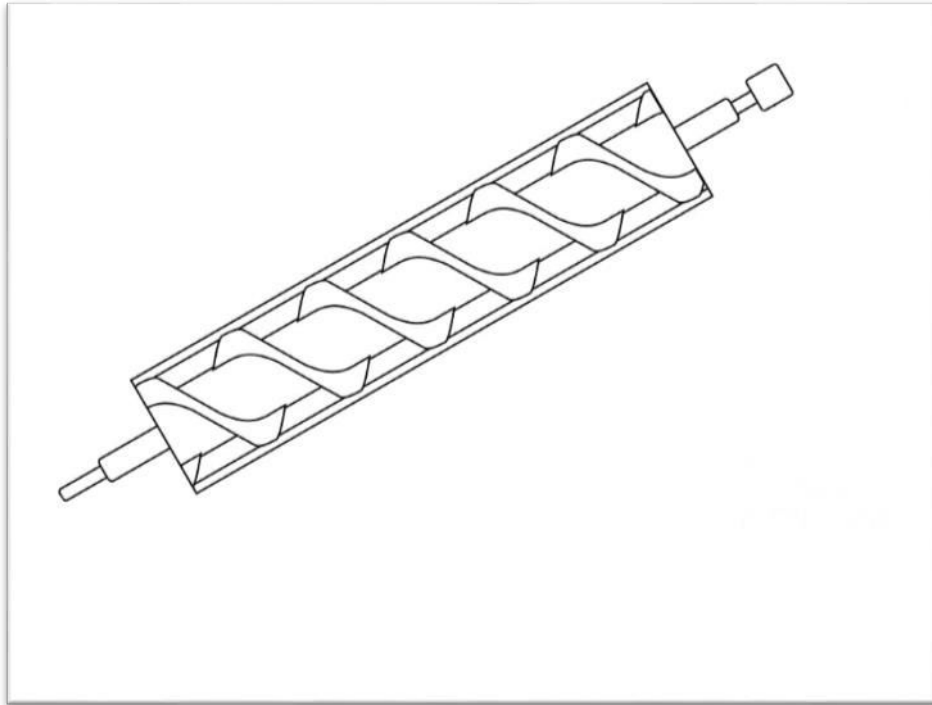


Figura 13

Una coclea è costituita essenzialmente da un tronco cilindrico nel cui interno ruota un asse attorno al quale si sviluppa una superficie elicoidale ad uno o più principi. Come ITEG la coclea può essere utilizzata sia come pompa sia come turbina. Se consideriamo il funzionamento come pompa, la sua parte inferiore è immersa nel liquido o nel materiale granulare da sollevare, e attraverso la rotazione della vite se ne raccoglie una certa quantità, che viene intrappolata tra una spira e l'altra di un principio, e avanza poi di una distanza pari al passo per ogni giro della vite, fino a fuoriuscire dalla coclea. In ITEG allo stesso modo, ad un giro del rotore il fluido in un suo qualsiasi condotto avanza di una distanza pari al passo.

Più precisamente, ogni corona circolare di condotti di ITEG, aventi tutti la stessa distanza dall'asse di rotazione, può essere vista come una coclea a più principi, con il numero di condotti equivalente al numero di principi. Si può quindi ritenere che ogni sezione circolare corrisponda ad una vite che non si sviluppa assialmente ma che accosta i principi uno accanto all'altro in una disposizione circolare.

Inoltre, calcolando la portata per una corona circolare di ITEG e per una coclea avente principi in numero uguale ai condotti della corona circolare, si avrebbe la stessa equazione:

$$Q = V * z * \frac{n}{60}$$

Dove:

- V: volume di fluido intrappolato tra due spire nel caso di una coclea; volume intrappolato in un condotto del rotore lungo un passo nel caso di ITEG;
- z: numero di principi della coclea; numero di condotti della corona di circolare nel caso di ITEG;
- n: numero di giri al minuto della vite; numero di giri al minuto del rotore nel caso di ITEG.

Capitolo 5 – Funzionamento magnetico

Ipotizziamo ITEG utilizzato come pompa, cioè che il dispositivo deve imprimere una certa energia di pressione al fluido che elabora, attraverso la rotazione del rotore. Come viene data energia al rotore per permettergli di ruotare?

Il meccanismo è costituito da magneti permanenti e da elettromagneti. Un magnete permanente è formato da materiale ferromagnetico che è stato precedentemente magnetizzato e crea un proprio campo magnetico. Mentre un elettromagnete è costituito da una bobina di filo conduttore che agisce come un magnete quando è attraversato da una corrente elettrica, ma smette di essere magnete non appena la corrente si ferma. Inoltre, è costruttivo avvolgere l'elettromagnete attorno ad un nucleo ferromagnetico per aumentare il campo magnetico prodotto dalla bobina. In ITEG, i magneti permanenti sono quelli incastrati sul rotore, polarizzati tutti nello stesso modo, mentre gli elettromagneti sono gli avvolgimenti posizionati negli appositi vani sullo statore.

Per l'innesco del rotore devono essere implementate particolari strategie, quindi per semplicità consideriamo il rotore a regime rotativo. A regime rotativo si sfrutta l'inerzia rotante della massa rotorica grazie alla conservazione di quantità di moto angolare. Tutti i singoli avvolgimenti, pilotati da corrente di congruo verso in modo da esporre il polo del campo magnetico generato contrario a quelli configurati negli assetti dei magneti permanenti, intensificheranno il campo magnetico nelle loro disposizioni assiali ed esprimeranno il picco, attraendo lo specifico polo del magnete permanente in prossimità di transitare nella zona assiale dell'avvolgimento che si sta attivando, che subito dopo diminuirà, per riattivarsi all'approssimarsi del magnete permanente successivo, mentre il precedente magnete permanente transitato oltre, entrerà nella sfera di azione del successivo elettromagnete. La forza generata dall'elettromagnete che andrà ad agire sul rotore è data dall'equazione:

$$F = \frac{B^2 * S}{\mu}$$

Dove:

- B: induzione magnetica;
- S: sezione del campo magnetico;
- μ : permeabilità;

La forza generata dal campo magnetico può essere legata alla corrente necessaria per generare tale forza con l'equazione:

$$I = \frac{F}{N}$$

In cui N è il numero di spire dell'avvolgimento.

Siccome ITEG ha più di un avvolgimento, il calcolo della forza data da un avvolgimento sarà moltiplicata per il numero di avvolgimenti presenti (supposti uguali). Essa sarà la forza in grado di mettere in rotazione il rotore e quindi trasmettere energia al fluido. Conoscendo questa forza, che sarà applicata in periferia al rotore, possiamo conoscere facilmente la coppia:

$$C = F * D$$

In cui D è il diametro del rotore, cioè il braccio della forza.

Conoscere la coppia è importante per legare la potenza del rotore con la sua velocità angolare:

$$P = C * \omega$$

Altro aspetto assai fondamentale del funzionamento magnetico di ITEG è capire se i cuscinetti toroidali posti sulle testate riescono a reggere la spinta generata dal fluido in transito nel rotore per evitare che esso si accosti alla testata e non riesca ad effettuare una corretta rotazione.

Come primo passo si vuole quantificare la forza repulsiva del magnete toroidale. Per far questo, si può utilizzare il tool per il calcolo della forza attrattiva di un magnete che si trova sul sito supermagnete.it che ci permette di scegliere le caratteristiche dimensionali del magnete in esame. Sapendo poi che la forza repulsiva è lievemente inferiore a quella attrattiva, a quest'ultima si sottrarre 5% di essa stessa. Se assimiliamo i magneti permanenti sul rotore come un anello, con il tool possiamo per esempio calcolare la forza attrattiva di due anelli in neodimio N45 con diametro esterno pari a 100 mm e diametro interno pari a 90 mm e spessore pari a 5 mm. Per distanze inferiori al millimetro essa supera i 30 kg, fino ad arrivare a circa 50 kg per distanze che si aggirano attorno alle decine di micron. Questa forza è espressa in kg perché è da considerarsi come il peso che applicato a due magneti in equilibrio, permette loro di staccarsi in direzione perpendicolare al piano di attrazione. Se vogliamo la forza in Newton come consigliato dal sito supermagnete.it basta moltiplicare il valore trovato per g (accelerazione di gravità). Quindi per esempio se ho una forza di repulsione di 45 kg corrisponderà ad una forza di repulsione di 440 N.

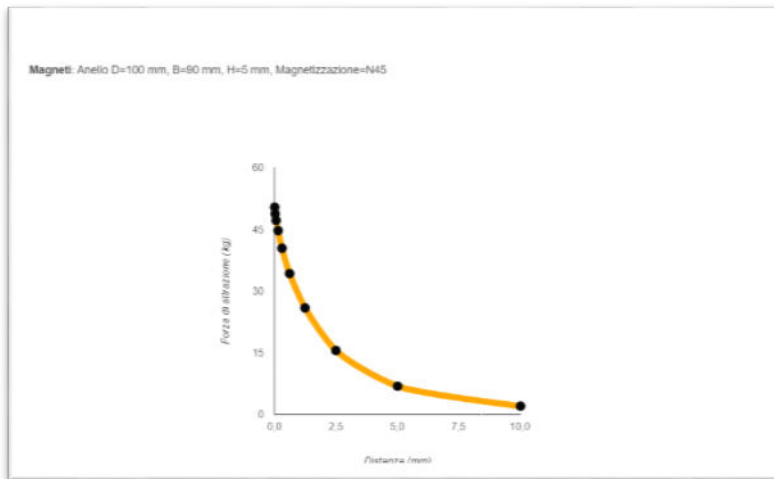


Figura 14

Possiamo a questo punto dividere la forza trovata per l'area su cui è applicata, cioè l'area della sezione del toro, per ottenere la pressione massima per cui i cuscinetti magnetici tengono a distanza il rotore dallo statore e permettergli una corretta rotazione. Per il caso preso in esame, otterremo una pressione di circa 74000 Pa. Questa pressione potrà essere comparata con quella che il fluido esercita sul rotore (ad esempio ricavabile dall'equazione di Bernoulli), in modo tale da poter dimensionare correttamente i cuscinetti magnetici.

I valori trovati sono da considerarsi per l'esempio specifico fatto, se con i cuscinetti magnetici si volesse reggere una pressione dell'acqua maggiore basterebbe dimensionarli coerentemente.

Capitolo 6 – Stampa 3D

Quale tecnologia è meglio utilizzare per creare ITEG? Di quale materiale realizzare la macchina? La risposta ci è stata fornita da un'azienda di settore che dal 1995 distribuisce i sistemi di prototipazione rapida, divenendo in breve una delle società in grado di fornire sul

mercato italiano soluzioni complete in più settori. La stampa 3D è il simbolo dell'identità innovativa di quest'azienda: infatti essa è diventata il punto di riferimento del mercato nazionale della manifattura additiva.

La stampa 3D è una tecnologia di fabbricazione additiva. Si tratta di processi che sfruttano modelli digitali CAD per creare oggetti tridimensionali attraverso l'unione di materiali. A differenza dei processi di lavorazione sottrattivi, in cui l'oggetto si ottiene mediante la rimozione di materiale da blocchi solidi, la fabbricazione additiva prevede la deposizione successiva di strati di materiale. Attraverso la stampa 3D, gli oggetti o i pezzi sono costruiti in strati molto sottili che consentono geometrie altamente complesse che sono impossibili con qualsiasi altro processo produttivo. La stampa 3D funziona al meglio per creare rapidamente prototipi funzionali e parti di uso finale con un alto livello di dettaglio.

L'Azienda con i suoi marchi, presenta con modelli X3, X5, X7, le sole stampanti disponibili sul mercato progettate ed interamente sviluppate in proprio (hardware, software e materiali) per consentire l'esclusiva possibilità di realizzare pezzi funzionali, resistenti e raffinati, in filamento di Nylon o di Onyx (Nylon con carbonio tritato) rinforzati a deposizione continua con fibra di carbonio, di vetro, di vetro per alte temperature e di Kevlar.

La tecnologia innovativa di queste stampanti consiste nell'esclusiva deposizione in filamenti continui di fibre sagomate di carbonio, vetro e Kevlar. Il sistema a doppia testa permette di creare parti sorprendentemente robuste, fino a 25 volte più rigide di quelle ottenute con altre stampanti 3D. Gli strati di materiale che vengono sovrapposti sono da 50 micron, permettendo di ottenere dettagli anche piccoli e ottima precisione.

Inoltre, a seconda del materiale di cui si vuole realizzare il pezzo e della strategia di costruzione scelta, le stampanti 3D permettono di ottenere pezzi anche in materiali differenti a seconda del tipo di applicazione necessaria e risultato finale che si vuole ottenere. In particolare, sempre con tecnologia di estrusione, i materiali compositi hanno il vantaggio di avere, in certe condizioni:

- un rapporto resistenza/peso superiore a quello dell'alluminio (fibra di carbonio);
- la massima resistenza all'abrasione e all'impatto (kevlar);
- grandi proprietà di rigidità e resistenza alla temperatura (vetro);

I materiali che vengono consigliati dall'azienda sono i seguenti:

- NYLON PA12, polimero specificatamente sviluppato per l'uso nella produzione additiva. La polvere garantisce un alto livello di stabilità e un'alta risoluzione, anche nel caso di oggetti fini e complessi.
- ELASTOMERO TPE, è una polvere pensata per stampare parti gommose ed altamente flessibili.

Per ITEG, si necessita un materiale che sostituisca la plastica (solitamente utilizzata per realizzare componenti con stampa 3D), ma che, allo stesso tempo, sia leggero, economico e resistente. Si deduce quindi che il polimero da considerare per ITEG sia NYLON PA12, in quando ITEG, durante la sua fase operante, non deve flettersi o deformarsi. Diversi altri materiali metallici (leghe) o base di carbonio possono trovare impiego, in funzione delle caratteristiche perseguite (durezza, usurabilità, rilascio chimico) e confacenti ai prodotti in transito.

Capitolo 7 – Pompe nell'industria alimentare

Processi dell'industria alimentare

L'industria alimentare comprende un'ampia varietà di processi intermedi, con cui, partendo dagli ingredienti grezzi si arriva fino al confezionamento di alimenti.

Molti di questi processi, necessitano dell'utilizzo di pompe, e si vuole andare a verificare in quali di questi processi può essere sostituito ITEG a pompe più classiche, in modo da creare dei benefici energetici.

Alcuni dei processi più comuni in cui è fondamentale l'utilizzo di una pompa, sono:

- trasporto: è l'operazione più diffusa nei vari processi dell'industria alimentare dato che è compresa nella maggior parte di essi, anche in quelli in cui l'obiettivo primario non è il semplice spostamento di materiale. La pompa in questo caso dovrà fornire una pressione a ciò che elabora, per fargli vincere un eventuale dislivello e per farlo avanzare nella tubazione e vincere gli attriti che si generano con l'avanzamento. In tutte le operazioni di trasporto può essere utilizzato ITEG;

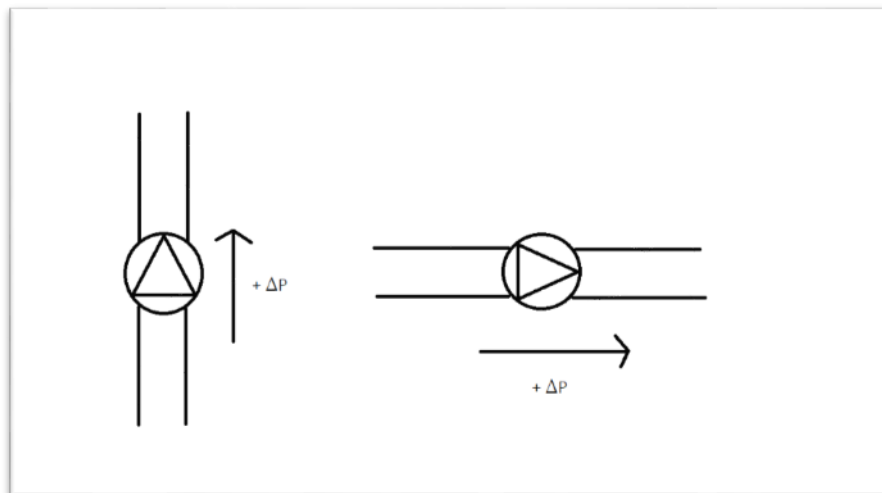


Figura 15

- filtrazione: è un'operazione con la quale un liquido in movimento, sotto l'azione di pressione generata da una pompa, si separa dalle particelle solide in esso disperse, per effetto della loro ritenzione da parte di un mezzo filtrante poroso attraverso cui il liquido viene fatto passare. In tutte le operazioni di filtrazione può essere utilizzato ITEG;

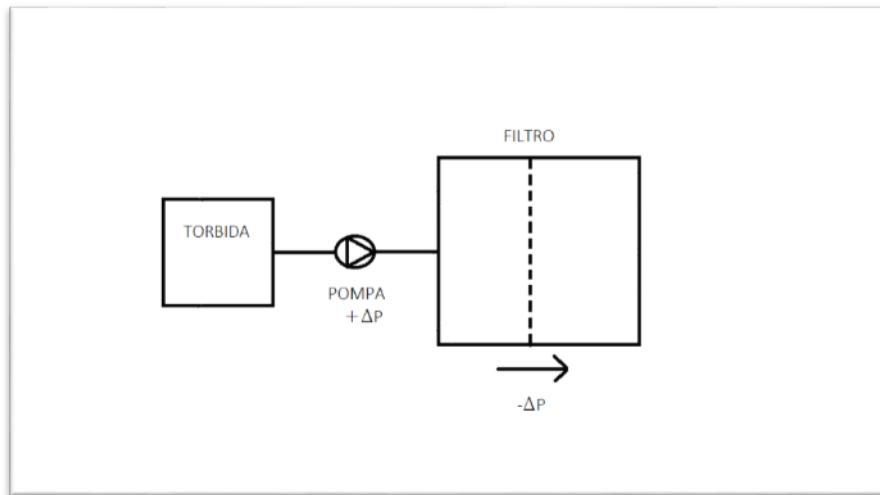


Figura 16

- dosaggio: operazione per cui può essere richiesta un'elevata precisione siccome il dosaggio di un componente in un altro spesso è necessario in quantità molto ridotte e precise. Il dosaggio può essere richiesto continuo, o discontinuo. In caso di dosaggio continuo può essere utilizzato ITEG dato l'elevatissimo rendimento volumetrico, e quindi la precisione del dosaggio, siccome a meno di infinitesime tolleranze tutto il fluido che entra nel rotore ne uscirà elaborato;

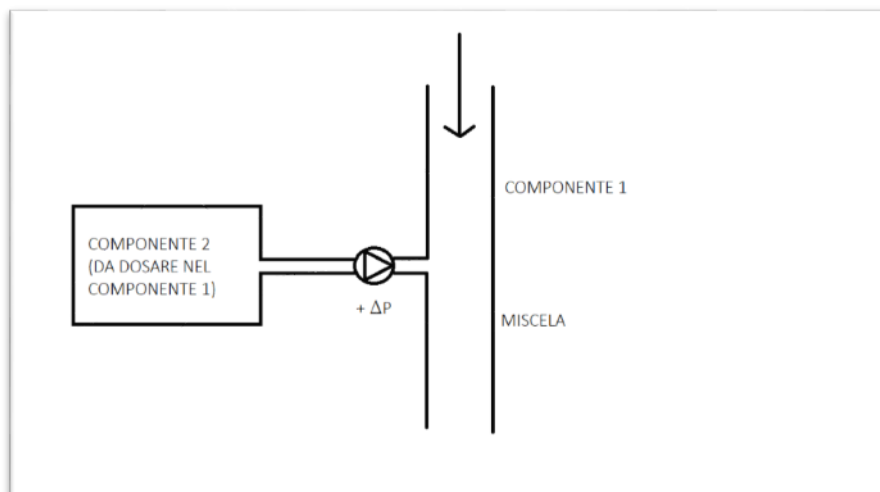


Figura 17

- riempimento: operazione con la quale si posiziona, in modo più o meno preciso, il prodotto finito o le componenti che lo realizzano, nella confezione. Può necessitare di elevate pressioni, ma solitamente è realizzato a basse pressioni. Per alcuni prodotti questa operazione deve essere compiuta con cura, in modo da

non rischiare di degradare nessuna parte di esso. In tutte le operazioni di riempimento può essere utilizzato ITEG;

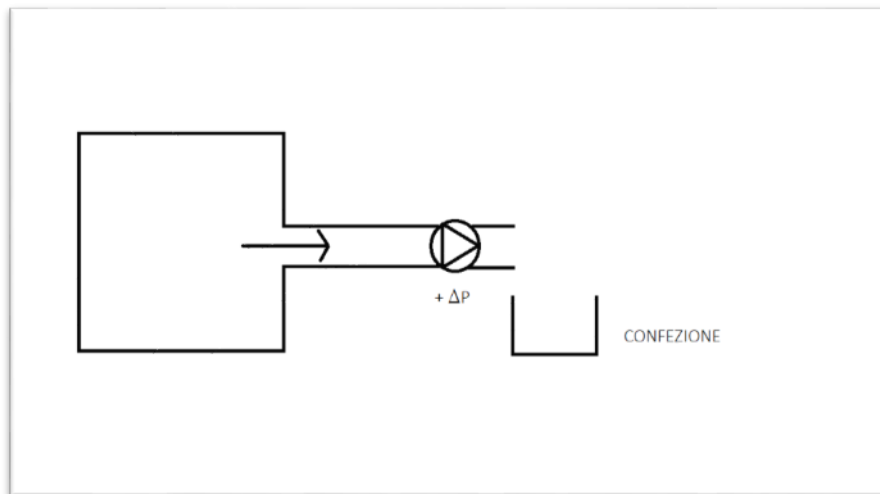


Figura 18

- concentrazione per evaporazione: operazione che ha lo scopo di ridurre volume e peso di un prodotto, per diminuirne i costi di stoccaggio e trasporto. Ma utile anche ad aumentare la conservabilità del prodotto. In un impianto utilizzato per compiere questa operazione, oltre allo scambiatore di calore, sono presenti delle pompe, che possono essere sostituite con ITEG.

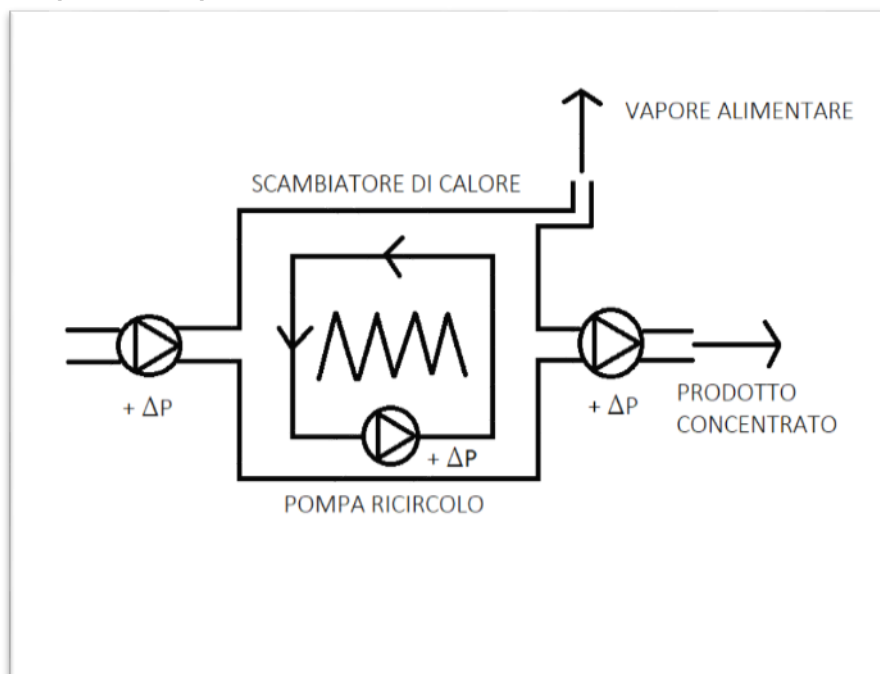


Figura 19

Confronto numerico

Consideriamo il semplice trasporto di fluido in un processo dell'industria alimentare. Solitamente viene compiuto con pompe centrifughe, quindi si vuole verificare se sostituendo una di esse con ITEG si avranno dei benefici.

A parità di portata, prevalenza, peso specifico del fluido e numero di giri del rotore, si evince immediatamente che se consideriamo l'equazione della potenza, ciò che può variare il risultato finale è solamente il rendimento della macchina. Ricordiamo che esso dipende dall'entità di rendimento idraulico, rendimento volumetrico, rendimento meccanico.

Per ITEG il rendimento idraulico lo si può considerare superiore a 0.9, che per pompe centrifughe è il limite massimo, e solitamente si aggira attorno a valori di 0.85; il rendimento volumetrico è assimilabile all'unità per ITEG, mentre nella migliore delle ipotesi per pompe centrifughe si arriva 0.98, e solitamente si hanno valori di 0.95; infine il rendimento meccanico di ITEG è molto vicino all'unità, al contrario di quello che possiamo riscontrare in pompe centrifughe dato che difficilmente si arriva a 0.95, rimanendo intorno a 0.92.

Siccome la potenza assorbita da una pompa è data dalla potenza che essa deve erogare, maggiorata di una percentuale dovuta alle perdite che la pompa stessa ha al suo interno e quantificate dai rendimenti, in ITEG avremo che la potenza assorbita sarà nella peggiore delle ipotesi circa 10% in più rispetto alla potenza che la pompa dovrà fornire al fluido elaborato, mentre in una pompa centrifuga nella migliore delle ipotesi la potenza assorbita sarà circa 15% in più rispetto alla potenza utile erogata dalla pompa. Bisogna tenere presente però che pompe centrifughe con rendimenti massimi sono costruttivamente complicate e costose. Se prendiamo in esame pompe centrifughe classiche, la potenza assorbita sarà almeno il 30% in più rispetto alla potenza che la pompa dovrà erogare.

Ovviamente questo confronto è puramente una stima, basata sui rendimenti ipotizzati per ITEG e su rendimenti di generiche pompe centrifughe.

Pompe in commercio e confronto con ITEG

Vediamo alcune delle pompe in commercio che vengono impiegate nel settore alimentare che più possono essere accostate ad ITEG e che vantaggi può avere ITEG rispetto ad esse. Prendiamo in esame pompe trovate su internet su alcuni siti che offrono sistemi di pompaggio utilizzati in molti ambiti, tra cui l'alimentare. Siccome abbiamo visto l'analogia tra ITEG e la coclea, le pompe che andrò a visionare e confrontare saranno costruttivamente simili a coclee.

Sul sito pcm.it vengono offerte pompe monovite Moineau, il cui meccanismo principale consiste in un rotore elicoidale che gira all'interno di uno statore a cavità elicoidale. Il rotore, fatto di acciaio inossidabile, è progettato con un alto grado di precisione mentre lo statore è plasmato in un elastomero resistente. La geometria e le dimensioni di queste parti, sono tali che quando il rotore è inserito nello statore, si crea una doppia catena di cavità a tenuta stagna a forma di alveolo. Quando il rotore gira dentro lo statore, l'alveolo avanza a spirale senza variare la sua forma e il suo volume, fino a fuoriuscire dalla pompa.



Figura 20

Le più rilevanti caratteristiche vantaggiose di questo meccanismo sono:

- bassa produzione di vibrazioni;

- capacità di elaborare un ampio range di fluidi, da quelli meno viscosi a quelli più viscosi;
- integrità dei prodotti fragili che vengono elaborati, per come avanza il flusso all'interno della pompa senza particolari urti e con basso effetto di taglio;
- facile manutenzione.

Sul sito pcm.it si trovano diverse pompe alimentari con questa tecnologia, tutte molto simili, ma ognuna con la sua caratteristica predominante.

La pompa igienica a cavità progressive (figura 21) è la pompa a cavità progressiva per applicazioni alimentari più delicata ed igienica che ci sia. Protegge la qualità e la consistenza dei prodotti pompati attraverso la tecnologia Moineau. Il 67% della consistenza del prodotto è protetto, rispetto al 15% di altre più classiche pompe in commercio. Essa è costruita in conformità con le linee guida dell'European Hygienic Engineering and Design Group (EHEDG) ed è quindi ottimizzata per l'impiego nelle applicazioni in cui l'igiene è fondamentale, oltre ad assicurare la possibilità di essere pulita al meglio.

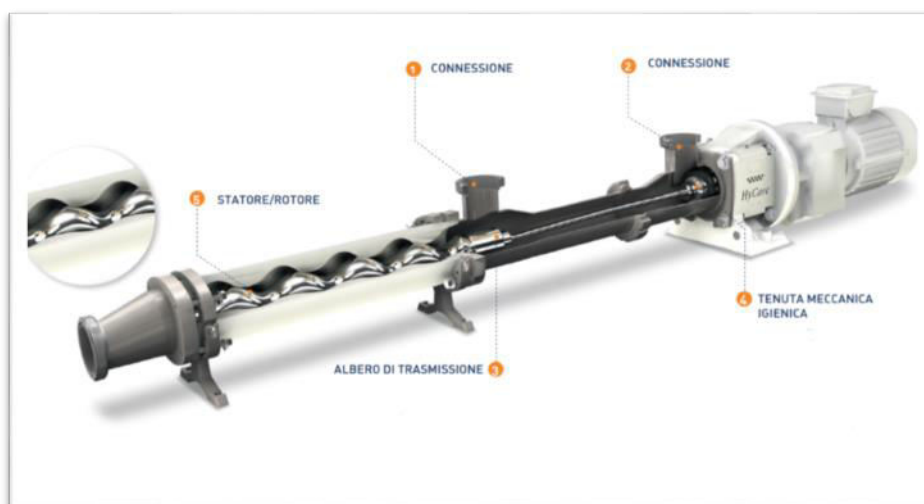


Figura 21

La pompa alimentare ecologica a cavità progressiva (figura 22) è una delle pompe a cavità progressive per applicazioni alimentari più ecologiche sul mercato. Le principali caratteristiche di questa pompa sono il risparmio energetico e il risparmio di spazio. Essa utilizza il

10% di energia in meno rispetto alla maggior parte delle pompe a cavità progressiva sul mercato. Inoltre, rispetto ad esse, è il 42% più corta e il 57% più leggera, e questo significa sia meno materie prime per la realizzazione, sia meno spazio occupato.

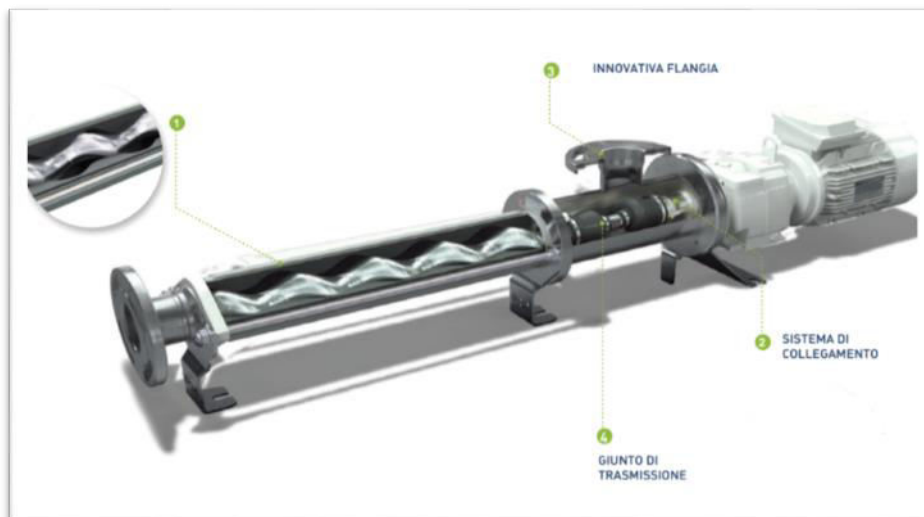


Figura 22

La pompa alimentare compatta a cavità progressiva (figura 23) è una delle pompe a cavità progressive più compatte sul mercato. È caratterizzata da un basso LCC (Life Cycle Costing), grazie al design molto semplice, da un basso costo manutentivo e da ingombro e peso limitati. Per le applicazioni alimentari presenta inoltre uno smontaggio rapido, per permettere una pulizia COP (Cleaning Out of Place) veloce.



Figura 23

La pompa alimentare con tramoggia a cavità progressiva (figura 24) è stata concepita per l'elaborazione di fluido molto viscosi. Ce ne sono di diverse tipologie, tutte aventi una vite di Archimede come rotore, in modo da poter raggiungere elevate pressioni, utili per l'avanzamento di fluidi viscosi. Dimensionalmente non irrilevanti, consentono però di lavorare a basso consumo energetico.

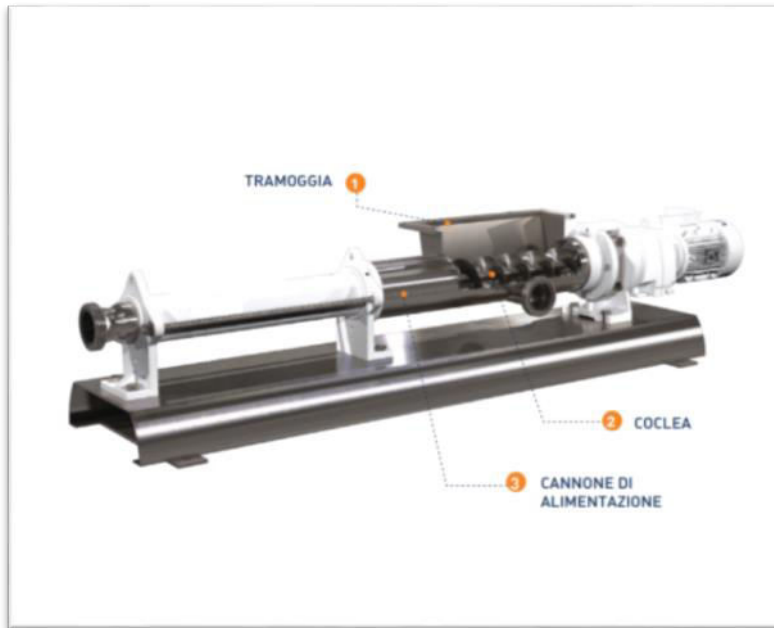


Figura 24

Vediamo le analogie con ITEG e i possibili vantaggi di quest'ultimo rispetto alle pompe appena descritte.

Confrontando la tecnologia Moineau con ITEG, si evince che in entrambi i casi il flusso avanza per azione meccanica del rotore. Si nota però che nel caso di ITEG il flusso attraversa il rotore, mentre nel caso di Moineau il flusso transita nella cavità presente tra il rotore e lo statore. ITEG, grazie agli esigui spessori delle pareti dei cavetti elicoidali (anche fino a decine di micron, in funzione delle applicazioni) ed all'assetto di tensostruttura, offre migliori rapporti tra superfici di azione e volumi impegnati; l'energia conferita in energia di pressione al prodotto avviene con omogeneità, in modo distribuito e non assiale, grazie ad una azione di conferimento, distribuita sulla superficie esterna dell'intero cilindro (aprendo a realizzazioni con minori densità di potenza per unità di superfici), con evidente maggiore efficacia che da assetti assiali consueti.

ITEG è sicuramente meno invasivo delle generiche pompe “cavità progressiva”, sia perché il suo inserimento nel processo in cui sarà utilizzato può avvenire semplicemente con la separazione della tubazione in cui transita il flusso e l’inserimento del dispositivo con dei semplici giunti a bicchiere, sia per il ridotto ingombro del dispositivo. Il minor ingombro è per via del passaggio del flusso all’interno del rotore, e non tra rotore e statore come nella tecnologia Moineau, infatti in ITEG tra essi è presente solo una piccolissima tolleranza dimensionale. Ulteriore volume risparmiato si ha perché l’intero statore di ITEG, richiedendo esigui volumi (distribuiti sull’intera lunghezza della parte rotorica), evita l’impiego di meccanica elaborata (demoltiplicazioni e gruppi cardanici) e volumi pertinenti (meccanici e propulsivi); meccanica che seppur attenta alla riduzione di contaminazioni (da paraoli e lubrificanti), non ne è esente, al contrario di ITEG, al netto di quanto di pertinenza degli specifici rilasci dovute alle proprietà intrinseche dei materiali impiegati.

In analogia con quanto detto per la pompa igienica, ITEG, essendo realizzato con stampante 3D, può essere scelto un materiale di realizzazione perfettamente conforme con la normativa EHEDG, e nella progettazione evitare caratteristiche strutturali del dispositivo in cui possa ristagnare del fluido e si possano generare dei batteri. Inoltre, non possedendo né organi di trasmissione né cuscinetti meccanici, non necessita di nessun tipo di lubrificante che potrebbe contaminare il prodotto alimentare in caso di perdite o di guasti.

Per quanto riguarda l’aspetto energetico, possiamo ipotizzare che in ITEG ci saranno perdite energetiche inferiori rispetto alle pompe ecologiche, dato che in esso non è presente un albero motore, che necessita di trasmissioni per far fluire energia al rotore, e che disperdono una parte di essa.

Altra caratteristica in cui ITEG è sicuramente comparabile con queste pompe, soprattutto con le pompe compatte, è il basso LCC. Partendo dalla sua produzione, essendo composto dall’unione di solamente 4 componenti meccanici realizzati con stampante 3D (rotore, statore, 2 testate), la sua realizzazione è sicuramente più veloce e meno onerosa rispetto a quella di una qualunque altra pompa compatta, che presenta molti più componenti meccanici. Anche per quanto riguarda il montaggio

e la manutenzione ITEG è semplice e sicuramente vantaggioso: una volta inseriti correttamente i magneti ed i bulloni il montaggio è subito completato, mentre quando si vuole effettuare manutenzione per scomporre il dispositivo è sufficiente rimuovere i bulloni che collegano lo statore alle testate.

Come abbiamo visto, possiamo raggruppare buona parte delle caratteristiche fondamentali di più pompe in una sola, cioè in ITEG. Oltre a questo, si può fare un'ulteriore considerazione sulla portata delle pompe. Per esempio, se consideriamo una pompa igienica a cavità progressiva, il range della sua portata varia da 20 l/h come limite inferiore, fino a 50 m³/h come limite superiore. ITEG può avere un range più ampio perché oltre a far variare il flusso magnetico generato dagli elettromagneti per regolare in numero di giri del rotore e quindi anche la portata, lo si può progettare dimensionalmente molto piccolo data la sua semplicità di componenti, o molto grande, dato il suo ingombro relativamente basso, ed avere valori di portata piccolissimi o grandissimi all'occorrenza.

Vediamo un'altra pompa assimilabile meccanicamente a ITEG, e quindi alla coclea, utilizzata nell'ambito agroalimentare, per poterla equiparare a ITEG.

Sul sito rbs.it si trovano pompe monovite (figura 25). Esse sono macchine volumetriche a vite eccentrica con statore flottante azionate da un motore elettrico, sono particolarmente compatte e versatili, caratterizzate da un buon rapporto qualità-prezzo, realizzate in acciaio inox con tenuta meccanica interna facilmente sostituibile all'occorrenza, elastomeri di diverse mescole secondo gli specifici prodotti da trattare. Sono pompe adatte a elaborare sia fluidi puliti che con particelle in sospensione come vino, latte, succhi, passati di verdura, miele ed altri prodotti viscosi. Queste pompe sono particolarmente adatte per l'impiego nel settore agroalimentare in quanto tutte le sue parti a contatto con il fluido da pompare sono realizzate in acciaio inox e con elastomeri idonei al contatto con alimenti. L'accorgimento più importante da mettere in atto per il corretto funzionamento di questa pompa è il controllare che il fluido da pompare sia sempre disponibile al fine di evitare che la pompa giri a vuoto e si danneggi lo statore. Queste pompe sono adatte al pompaggio di: uva, mosto, vino, polpa di verdura,

polpa di frutta, succhi di verdura, succo di frutta, macinato di carne, latte e derivati, pomodoro, olio, marmellata, maionese, acidi, collanti.



Figura 25

In analogia con questa pompa ITEG ha sicuramente un buon rapporto qualità-prezzo, e può essere utilizzato con una vasta gamma di fluidi, anche se sicuramente una pompa a vite elaborerà più facilmente fluidi molto viscosi, mentre ITEG avrebbe bisogno di un'attenta analisi sull'occlusione dei condotti. Però esso ha degli innegabili vantaggi rispetto a questa pompa: ITEG non genera azione tagliante in grado di degradare il prodotto che elabora, al contrario di questa pompa che, utilizzando una vite come rotore, genera tale azione tagliante. Inoltre, lo spazio occupato da ITEG è inferiore, basta mettere a confronto le componenti statoriche e si nota immediatamente che in ITEG oltre a quella parte non ci sono altre parti meccaniche che occupano volume, a differenza delle pompe monovite più comuni. Questo aspetto vantaggioso di ITEG è fondamentale, perché è un vantaggio che può valere confrontandolo con tutte le tipologie di pompe simili in commercio, di seguito andremo più nel dettaglio.

Si vuole anche mettere in relazione l'organo rotorico di ITEG con quello di altre pompe in commercio con simili caratteristiche. Si consideri la figura 26.

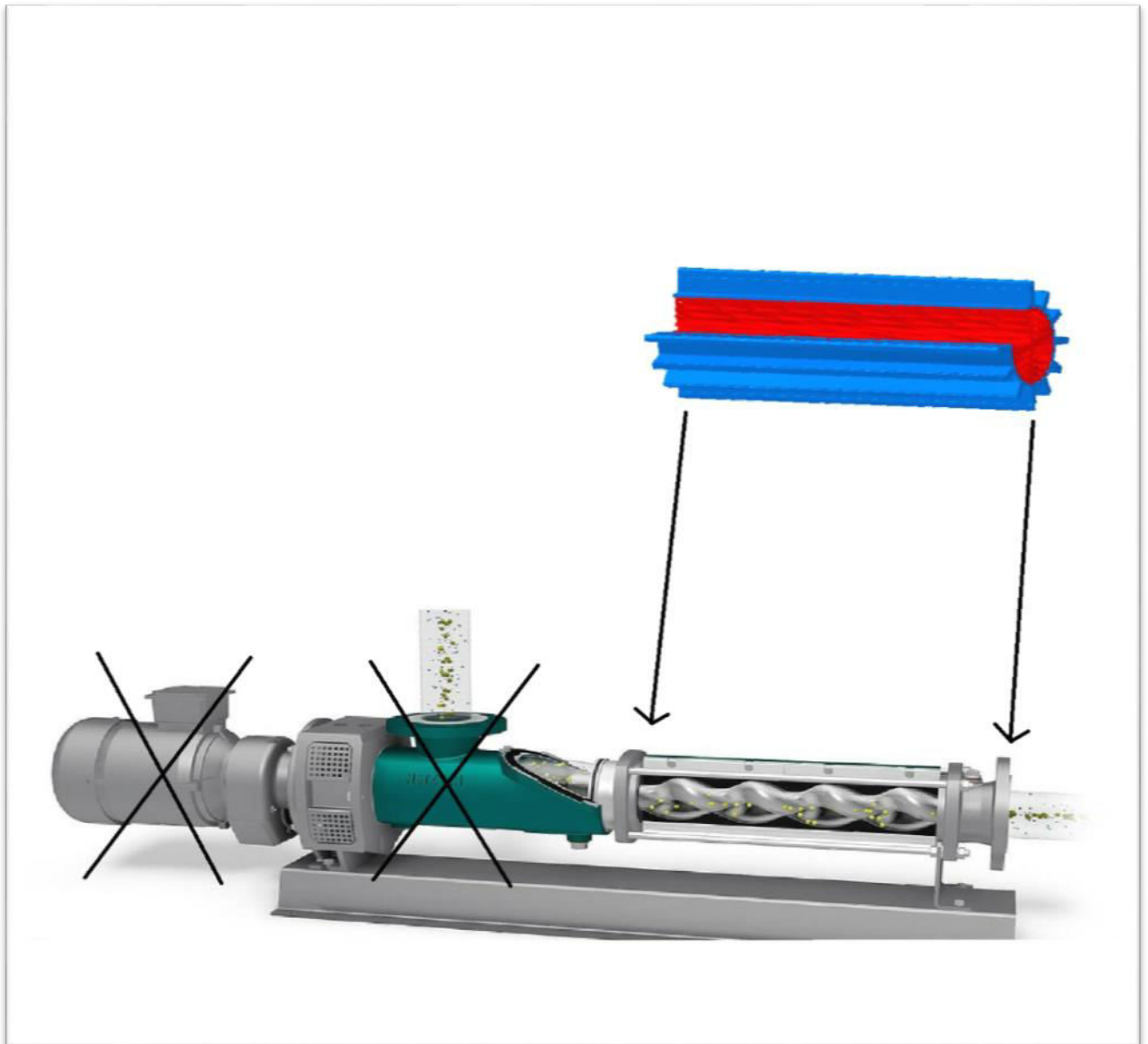


Figura 26

Si vede ITEG con l'organo rotorico dimensionato coerentemente con un altro organo rotorico di una pompa a cavità progressiva in commercio (lo spaccato del rotore consente anche di notare l'assetto e dinamismo interno). Si stima il rotore di questa pompa di lunghezza pari ad almeno mezzo metro, sulla lunghezza complessiva della pompa sul mercato di almeno un metro e mezzo.

Da tenere ben presente è la dimensione dell'ugello di fuoriuscita del fluido in ITEG e nelle altre due pompe. Si nota immediatamente come ITEG occupi meno spazio nella direzione radiale al flusso. Anche in direzione assiale ITEG occupa meno spazio, basta infatti comparare

rotori approssimativamente della stessa dimensione in modo da elaborare simile portata e quindi poter fare un confronto equo: in ITEG oltre al rotore e allo statore in cui è avvolto, sono presenti solamente le testate, di ridotte dimensioni; mentre nelle altre macchine l'insieme di rotore e statore comprendono solamente un terzo (o metà nella migliore delle ipotesi possibili) della lunghezza totale. E questo mette ancor più in evidenza il vantaggio di avere ITEG nel processo, oltre al risparmio economico dovuto al fatto che non è presente un motore (concettualmente sostituita dalla parte statorica) e delle trasmissioni che devono essere comprate e mantenute.

Siccome non si vuole limitare l'utilizzo di ITEG in sostituzione a pompe di simil fattura, vediamo il paragone tra esso e altre tipologie di pompe utilizzate in aziende alimentari.

Sul sito pumps.netzsch.com vengono proposte interessanti pompe a lobi, che tra i vari impieghi sono indicate per l'utilizzo nel settore alimentare. Sono pompe volumetriche, adatte per raggiungere elevati valori di pressione. Effettuano un trasporto continuativo e delicato, e sono indicate per il dosaggio proporzionale al numero di giri. Sono pompe molto compatte e che occupano poco spazio, richiedono poca manutenzione e assistenza, poiché tutti i componenti a contatto con la sostanza sono subito accessibili senza bisogno di dover smontare la tubazione. La manutenzione è semplice e senza l'utilizzo di attrezzi speciali. I lobi possono essere rimossi con facilità perché non sono fissati all'albero con bulloni interni al corpo pompa, ma bensì all'esterno con un sistema di bloccaggio rapido, pertanto nemmeno a contatto con il prodotto. Inoltre, i lobi possono essere rimossi indipendentemente uno dall'altro, ed essere poi rimontati nella corretta posizione semplicemente per mezzo di un attrezzo posizionario in dotazione che dopo l'utilizzo viene riposto in un proprio alloggiamento sulla parte esterna della macchina. Queste caratteristiche riducono notevolmente il tempo di intervento di manutenzione.



Figura 27

Caratteristica predominante di questa pompa è la semplicità dei componenti che permette una rapida manutenzione. Caratteristica che è in analogia con ITEG siccome lo smontaggio di esso è altrettanto semplice: una volta svitati i pochi bulloni che collegano lo statore alle testate la macchina è smontata. Si è detto che le pompe a lobi prese in esame offrono un'elaborazione del fluido continua e delicata, caratteristica che offre anche ITEG, riuscendo inoltre ad essere più delicato di queste pompe non generando effetti di taglio che danneggiano il fluido come succede nelle pompe a lobi (anche se in maniera ridotta per le forme tondeggianti dei lobi). Ovviamente, mettendo a confronto la zona di elaborazione del fluido in pompe a lobi in commercio e in ITEG si nota immediatamente il maggiore spazio occupato da parte del sistema totale di queste pompe rispetto a ITEG.

Sul sito lewa.it si trovano svariate tipologie di pompe dosatrici per il settore alimentare, tra le quali si prende in analisi una pompa dosatrice a pistone. La maggior parte delle pompe dosatrici in commercio sono con tecnologia a membrana, per ottimizzare la precisione del dosaggio, ma questa tipologia di pompa è piuttosto onerosa e non sempre è di fondamentale utilizzo. Per il dosaggio dei fluidi meno critici si utilizza la pompa dosatrice a pistoni. Compattezza ed economicità sono le sue caratteristiche predominanti. Essa può essere equipaggiata con più teste pompanti se necessario, tutte collegate allo stesso motore con organi di trasmissione. Tutte le parti di questa pompa a contatto con il fluido sono realizzate con materiali di alta qualità, come ad esempio i pistoni realizzati in ossido ceramico.



Figura 28

Se venisse utilizzato ITEG come pompa dosatrice, esso sarebbe dimensionato con rotore avente diametro pari alla tubazione del fluido elaborato. Vedendo l'immagine sovrastante in cui il fluido scorre solamente a contatto con l'estremità del pistone, si intuisce immediatamente lo spazio risparmiato utilizzando ITEG, ma soprattutto il risparmio nel dover comprare una pompa di dimensioni notevolmente ridotte rispetto a quella in immagine. Oltretutto ITEG non presenta né un motore né gli organi di trasmissione relativi ad esso che ne comportano sicuramente una manutenzione, ma anche una perdita energetica legata ai rendimenti.

Come ultimo esempio, vediamo una pompa centrifuga, trovata sul sito csf.it. La pompa centrifuga a girante periferica, realizzata in acciaio inox, grazie al particolare design della girante e all'assenza di pulsazioni, è particolarmente adatta per il trasferimento senza recare particolari danni di liquidi puliti, non abrasivi, e senza solidi in sospensione nell'industria alimentare. Questa pompa è realizzata in materiali conformi con le normative, che possono entrare a contatto con gli alimenti senza provocarne il degrado in nessun modo. Il suo range di utilizzo è per prevalenze che vanno da un fattore medio ad elevato (100 m), però con portate piuttosto esigue (6 m³/h). Il suo punto di forza è sicuramente l'aspetto economico. Infatti, pompe centrifughe semplici costruttivamente come questa, possono avere un prezzo all'incirca di 300 euro.



Figura 29

ITEG può essere sostituito a pompe centrifughe che hanno il compito di trasporto del liquido. Anch'esso è vantaggioso economicamente, sia per la semplicità meccanica che possiede, sia per la non fruizione di un motore nel suo utilizzo, cosicché la maggior parte del costo di ITEG sia concentrato sullo stampaggio 3D dei pochi componenti meccanici e sull'acquisto di magneti al neodimio. Inoltre, ITEG ha sicuramente un range di portata più ampio in cui può operare, ottenuto variando semplicemente la dimensione del rotore e il numero di giri di esso. Anche in questo caso si nota l'enormità della macchina rispetto alla semplice girante in cui è elaborato il fluido ed avviene lo scambio energetico, fatto sconveniente rispetto ad ITEG dato il suo esiguo spazio occupato.

Di seguito con una tabella si riassumono i possibili vantaggi di ITEG rispetto a pompe in commercio

POMPE IN COMMERCIO	ITEG
Pompe monovite	<ul style="list-style-type: none"> · minor ingombro · distribuzione più omogenea della pressione al fluido da parte dei condotti · minor azione tagliante · assenza di trasmissioni
Pompe a lobi	<ul style="list-style-type: none"> · minor ingombro · minor azione tagliante · assenza di trasmissioni
Pompe dosatrici	<ul style="list-style-type: none"> · minor ingombro · risparmio di materiale

	<ul style="list-style-type: none">· assenza di trasmissioni
Pompe centrifughe	<ul style="list-style-type: none">· minor ingombro· rendimenti più performanti· maggior adattabilità di progetto

Capitolo 8 – Conclusioni

Questa tesi vuole far emergere le potenzialità che ITEG può raggiungere se ben progettato. Potenzialità che lo renderebbero un'ottima alternativa alle macchine simili tutt'oggi sul mercato. La duttilità di questo dispositivo, data dall'adattabilità di progetto è sicuramente uno dei maggiori punti di forza che permette a ITEG di poter essere utilizzato nella maggior parte dei processi che richiedono una macchina idraulica. Grazie alla sua realizzazione mediante stampa 3D possiamo scegliere per la composizione di ITEG materiali altamente tecnologici aventi elevate caratteristiche meccaniche ma allo stesso tempo piuttosto economici. Oltre a poter assumere caratteristiche dimensionali irraggiungibili senza la stampa 3D; e con essa può essere realizzato in breve tempo e senza materiali di scarto, generando un primo aspetto di risparmio economico. Altri aspetti economici a favore di ITEG sono: sicuramente la ridotta manutenzione che richiede, non presentando elementi strutturali come giunti o trasmissioni; il facile montaggio e smontaggio, che avviene semplicemente attraverso i bulloni che collegano lo statore alle testate (e quindi senza l'ausilio di tecnici specializzati); non meno importante è l'aspetto energetico del dispositivo, che presuppone un risparmio di energia, e quindi di costi, grazie agli elevati rendimenti. Importantissima è anche l'omogeneità con cui il rotore scambia energia con il fluido: se in molte delle pompe che abbiamo visto in tesi, la superficie di scambio energetico tra rotore e fluido era ridotta, comportando anche problemi di omogeneità, in ITEG la superficie di scambio è molto ampia, siccome è essa stessa la superficie interna dei condotti in cui transita il fluido. Nella seguente immagine si vede il rotore sezionato proprio per far emergere la superficie di scambio all'interno di esso.

Riassumendo, le caratteristiche vantaggiose in dotazione a ITEG sono: adattabilità di progetto, semplicità costruttiva, risparmio energetico, risparmio economico.

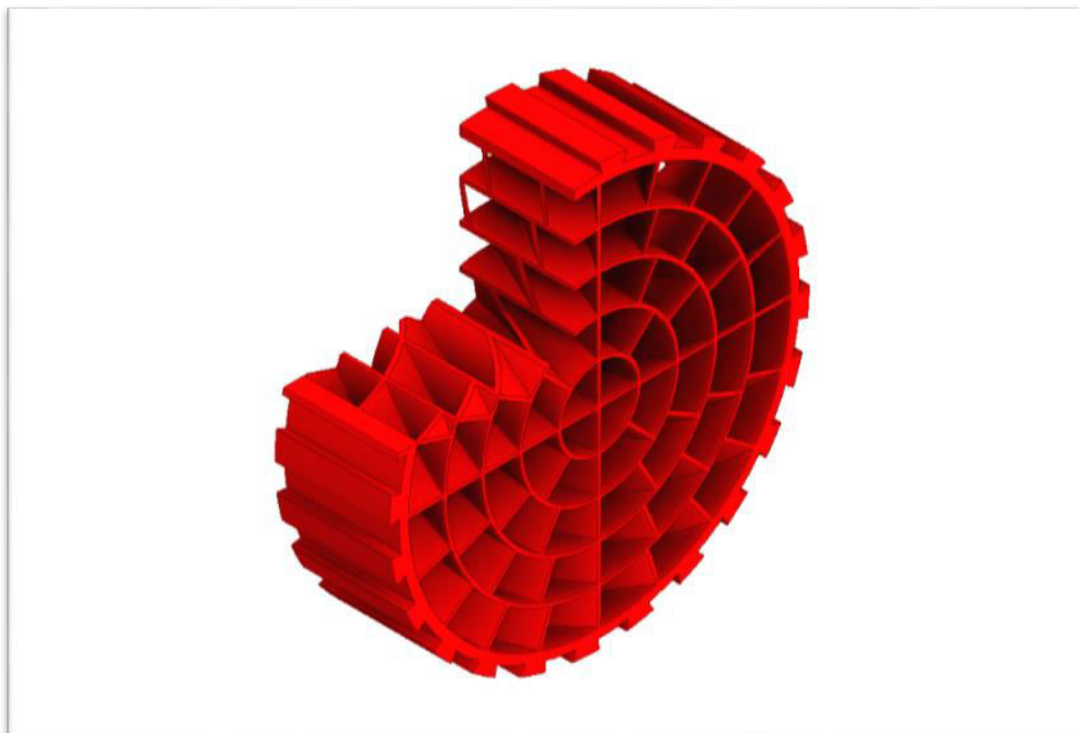


Figura 30

Tutti questi aspetti rendono ITER una macchina senza uguali, conclusione frutto del confronto della stessa con altri sistemi aventi le stesse funzioni. Se tutta la teoria scientifica riguardante ITER dovesse essere comprovata dall'esperienza sul campo, è fuori discussione il successo che questo dispositivo potrà ottenere.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA:

- Macchine, macchine idrauliche. Farnè. Synopsis.
- Ingegneria dell'industria agroalimentare. Friso. Cleup.
- Manuale dell'ingegnere. Nuovo Colombo. Hoepli.
- Fisica per scienze ed ingegneria. Serway, Jewett. Edises.
- Appunti di meccanica applicata alle macchine. Mimmi. Synopsis.
- www.supermagnete.it
- calamite.org
- edutecnica.it
- www.cmf.it
- www.pcm.eu
- www.rbs-srl.it
- pumps.netzsch.com
- www.lewa.it
- csf.it

Innovative Fluid Machine that Can Operate both as a Turbine and as a Pump

Stefano Farné

Department of Industrial, Electrical, Computer and Biomedical Engineering, University of Pavia, Italy.



DOI: Under assignment

Copyright: ©2020 Stefano Farné. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Article Received: 11 September 2020

Article Accepted: 19 November 2020

Article Published: 06 December 2020

ABSTRACT

The Integrated turbine electric generator (ITEG) machine has been designed by Stefano Farné and Vito Lavanga and it is the subject of a registered patent that has also received WIPO positive research reports. ITEG allows to integrate a fluid dynamic machine and an electric motor into a single device, making it versatile and allowing a wide range of use both as a pump, giving prevalence to a fluid, and as a turbine, generating electric power. Thanks to the extreme simplicity of installation and to the low maintenance request, since it is gearless, ITEG can be more convenient than traditional machines, both for hydroelectric energy production and for pumping purposes. The present paper shows the various aspects of the design of this innovative machine, presents the literature review examined in terms of scientific articles and patents and illustrates the mathematical model that allows ITEG sizing and the simulation of its operation.

Keywords: Fluid machines, Rotor, Stator, Turbine, Pump, Generator, Engine.

Introduction

The transformation of the energy of a moving fluid into electric energy is normally obtained through a hydraulic turbine (eg. Pelton, Francis, Kaplan, propeller) being keyed on a connected shaft directly or indirectly to the rotor of an electric generator. The presence, in the actual machines, of intermediate mechanical elements and related frictions and / or inertias, determines hydraulic, volumetric and mechanical losses, with consequent reductions in the efficiency of the transformation itself. Moreover, it obliges two design and distinct productions (turbine and generator) and their interfacing, with consequent higher capex and opex costs. In many cases compact objects are found which, supported by joint structures, integrate turbine and generator functions sharing an axis at best, but always insisting on different sections of the axis itself, not always in alignment. In the opposite case, that is the transformation of the electric energy in the movement of a fluid, it is currently carried out through the use of two separate machines that is an electric motor which drives a pump, with the same disadvantages of the previous case. On the contrary, ITEG consists of a system that integrates the mobile component - rotor - with the fixed component - stator - in a single assembly, as better described in the following section.

Materials and Methods

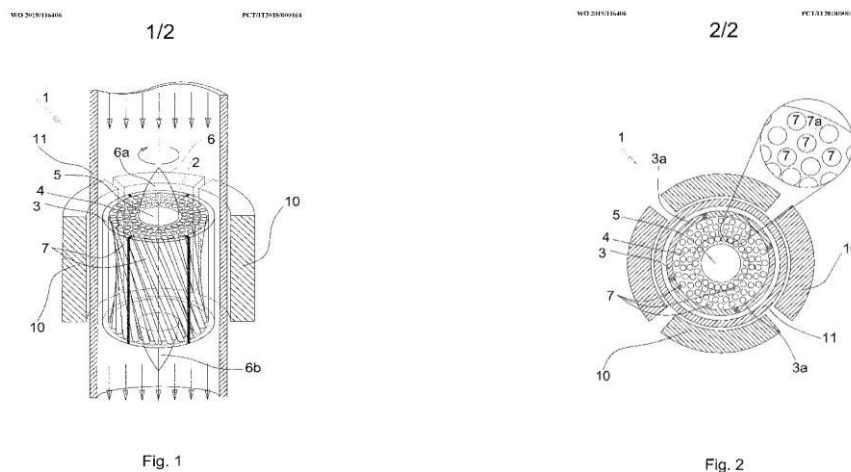
ITEG is essentially composed of rotor and stator components, both for engine/pump and for generator/turbine set-ups, immersed in separate environments and are described with reference to the figures:

- 1 of a split section
- 2 of a cross section to the rotation axis

which show the device details with numbers in brackets. The device (1) essentially comprises a first part or rotor system (2) and a second part or stator system (10), and is applied to a conduit (11) flowed by a fluid in such a way that the stator part (10) is external and the rotor part (2) is internal to (11). The material of which the conduit (11) is

constituted is magneto-transparent so as not to hinder the interaction by magnetic induction between the rotor part (2) and the stator part (10) of the device (1). The rotor (2) consists of three concentric cylinders:

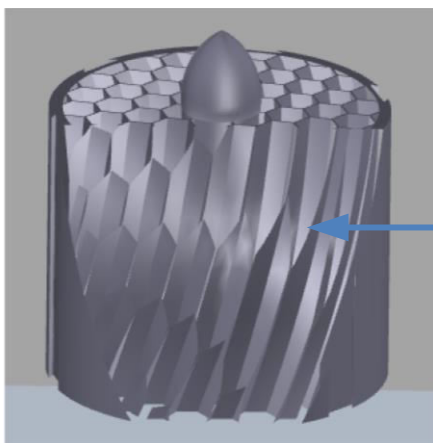
- *an external cylinder (3), including permanent magnets, designed to fulfill the role of generator / electric motor, interacting with said second stator part (10);*
- *an intermediate cylinder (4), structured with a bundle of ducts (7), wound with a helix shape, inside which the fluid passes;*
- *an internal cylinder (5) designed to perform the rotation axis function (6) of the rotor system (2).*



The rotor (2) carries out the turbine/pump functions in a single element and interacts, by its peripheral part (3), with the stator (10), that performs the generator / engine functions. The innermost cylinder (5) is completed, both at the head and in the tail, by ogives (6a, 6b), preferably of a conical shape, suitable and functional to the dynamics of the fluid flows and their characteristics. If the device (1) is arranged with the axis (6) in a vertical position, the inner cylinder (5) can be conveniently ballasted, or lightened (filled with air); in this way, the thrust of Archimedes can contribute to counteract the axial forces to which the rotor system (2) is subjected, as discussed in the Results and Discussion section. If the intermediate cylinder (4) is hit by a fluid flow parallel to (5), is rotated, while, if it is put in rotation, it imparts a longitudinal flow to the fluid. In the first case the intermediate cylinder (4) fulfills the role of turbine, while in the second case it performs the role of a pump. The ducts (7) have sections designed to maximize the mechanical energy exchange between the fluid and the rotor system (2), limiting the negative effects of turbulence. In order to maximize the flow passage section, the ducts (7) have very low thicknesses with respect to the useful working section. The sections of said ducts (7) can be of circular, elliptic or polygonal, depending on the type of flow and the purposes assigned to the machine. In any case, the interstices (7a) should be kept to a minimum. The dimensions of the pitch and radius of development of the ducts (7) winding must be chosen according to the nature of the fluid in which the rotor system (2) is immersed. The outermost cylinder (3) includes one or more pairs of permanent magnets (3a), having the shape of circular crown sections and constituting the outer surface of the rotor system (2). The stator system (10) is suitable for generating / inducing electromagnetic fields which interact with the permanent magnets (3a) present in the rotor system (2). The electromagnetic fields are generated / induced by windings (not shown in the figures 1, 2) wound in the stator slots. In the case where a

suitable tension is applied to the stator windings, the interaction with the permanent magnets (3a) of the rotor (2) will cause its rotation and the device (1) works as a pump, causing the flow of fluid present in the duct (11). In the event that the flow of the fluid present in the duct (11) causes the rotation of the rotor (2), the interaction between its permanent magnets (3a) and the windings present in the stator (10) generates an electromotive force in said windings and the device (1) functions as a generator. The device (1) according can be used also independently of the presence of the conduit / pipe (11), for example in air or free water.

The rotor cylinder (2) can be produced by extrusion processes, either with metallic or polymeric materials, chosen according to the intended use; in particular, in the case of complex geometries, it can be realized by 3D printing.



*Fig. 3 Internal structure of the rotor
Ducts wrapped helically around the
central cylinder*

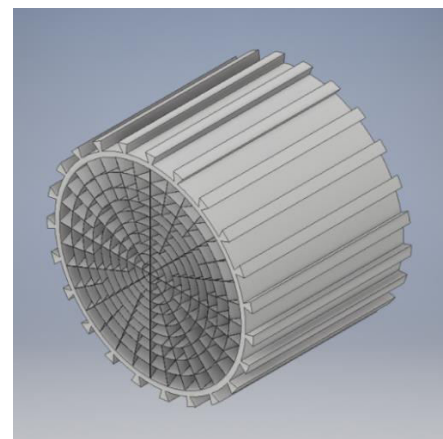


Fig. 4 Perspective view of the rotor

The rotor ducts have sections aimed at maximizing the energy exchange with the fluid and the rotor; their pitch and the radius of development of the winding propeller will be functional depending on the nature of the fluid (density, viscosity, molecular structures, ...) and on fluid dynamic structures in which it is assumed to operate (fig. 3 and 4). The third outermost cylinder contains a plurality of polar pairs, generated by permanent magnets, in the form of circular crown sections shaped like an omega or a dovetail (fig. 5) and embedded in the support material to better withstand centrifugal forces and instability. The fixing can be completed with adhesives, glue, resins or other adhesives depending on the use of ITEG and the fluid with which it works, to prevent the magnet from axially slipping out of its housing. The rotor cylinder (Fig. 6) is housed inside a stator cylinder, solidly anchored to the operating environment, and consisting of magnetic sheets (Fig. 7) and electrical windings (Fig. 8) capable of generating or inducing an electromagnetic field, concatenated with that of the rotor, according to the known laws of electromagnetic induction.

In operation as a turbine, the fluid current hits the rotor and, penetrating inside the ducts of the intermediate cylinder, gives a thrust action on the inclined walls of the ducts, imparting a rotational movement (fig. 9 and 10). The mechanical energy thus generated allows the permanent magnets, located in the external areas of the rotor, to generate a variable magnetic field and therefore to induce an electromotive force in the stator windings. Using ITEG in alternating mode, an inverter will follow, which will bring the frequency of the current to the frequency required by the grid. This transition between rectifier and inverter is necessary because the turbine will not turn at constant speed and exactly at 50 or 60 Hz.

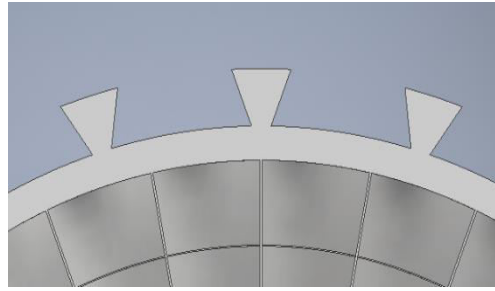


Fig. 5 Dovetails to accommodate permanent magnets

In operation as a pump, by feeding the stator windings with an appropriate electromotive force, the electromagnetic field thus generated interacts with that of the permanent magnets of the rotor, putting it in rotation. The useful surface of the rotor covers an extremely important part of the ITEG as it exploits the most part of the surface affected by the fluid which will move the rotor to produce electric power or, in the case it is used as a pump, it will move the fluid in a given direction. This feature makes ITEG very functional and efficient.

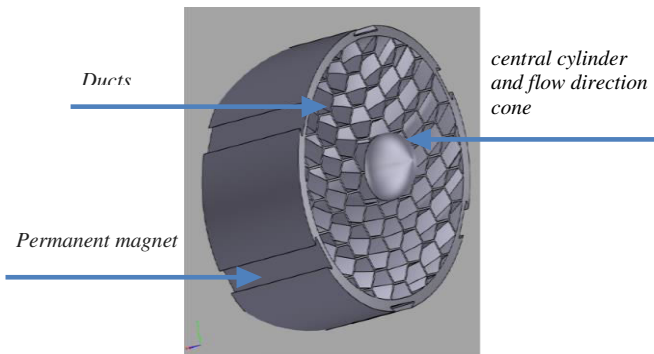


Fig. 6 Structure of the rotor

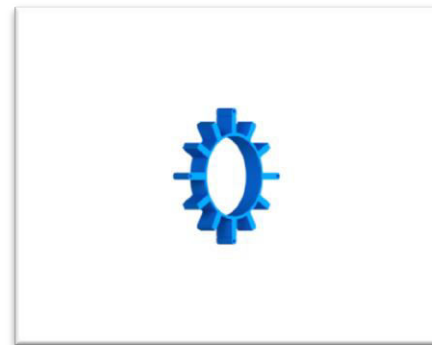


Fig. 7 Magnetic sheet pack

The impact surface is a hive of geometric shapes (identical or different from each other) and is obtained on the entire circle that comes into contact with the fluid, making almost all of the surface capable of producing work (part of the surface is dedicated to the separation walls). The hole of the duct can have any geometric shape (circles, squares, hexagons, triangles, etc.) as the work produced does not depend on the geometric shape of the surface but on their distribution on the useful area of the rotor, which therefore can be optimized in the best possible way.

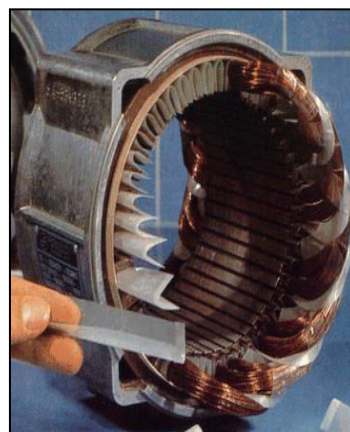


Fig. 8 Electrical windings

The cone-shaped part directs the flow of the fluid inside the ducts that fill up and the reaction of the forces between the moving fluid and the walls of the enveloping ducts generates rotation. The profile of the section of the rotor allows to decrease the weight and to reduce the size of the interstices between a duct and the adjacent ones, increasing its efficiency, since it intercepts the fluid more effectively. Furthermore, since there are no mechanical fasteners and fixing, the losses due to the friction are reduced, significantly improving the performance of ITEG compared to other fluid machines. The rotor is kept in axis by the magnets located on its external surface, which interact with the electromagnetic stator.

The longitudinal position of the axis is maintained by magnetic bearings consisting of toroids in permanent magnets at the ends, suitably sized and magnetized. The functioning of the magnetic bearings is based on the repulsive thrust that is generated when the north pole and south pole of a magnet are placed close together. When the rotor tends to come out of the stator position, the magnetic bearings placed on the case (fig. 11) will tend to push it in the opposite direction of translation, preventing it from coming out of its seat. Similarly, the crown placed at the opposite end of the case will act in the same way by keeping the rotor in a “magnetic cage”. In this way, the magnetic bearings interact with the permanent magnets placed on the rotor. A thickness between the rotor and stator is present, to avoid possible collisions during exercise and therefore slowdowns or sudden stops. A schematic installation of ITEG is shown in fig. 12.

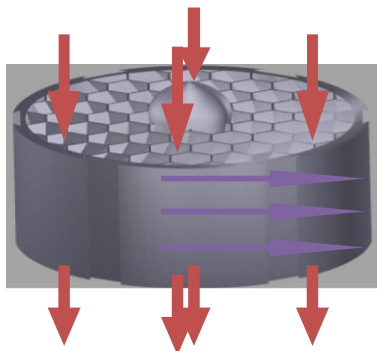


Fig. 9 ITEG flowed by the fluid (vertical vectors)

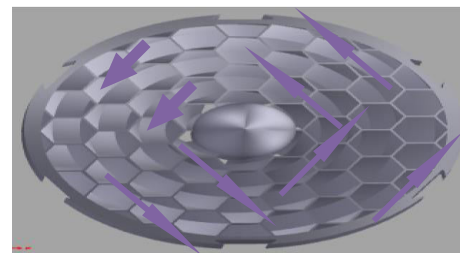


Fig. 10 Forces represented on the plane

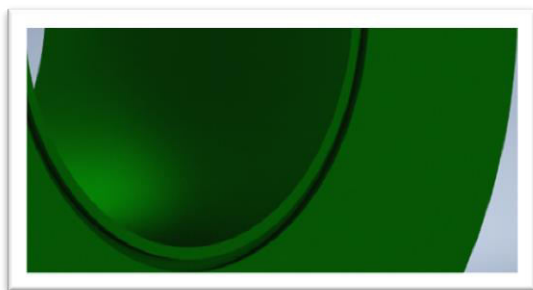


Fig.11 Housing of the magnetic bearing inside the case

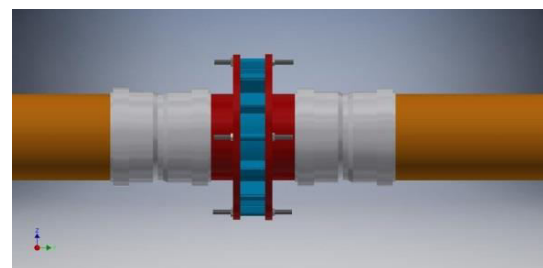


Fig. 12 ITEG possible installation

Literature and Patents Review

As illustrated below, ITEG can be considered an evolution of the Archimedes' screw or cochlea. The literature review did not highlight systems equal to ITEG, therefore the search of scientific papers and of patents has been

focused on Archimedes screw-based systems. Stergiopoulou et al. in several journal articles [1-6] and Conference Proceedings [19-31] present various applications of Archimedean Screws as turbine in hydro-electric power generators using both sea and rivers. Casini [7] presents an application of the harvesting energy from in-pipe hydro systems at urban and building scale by providing a consistent amount of clean and continuous energy without the typical intermittency of wind and solar and at the same time helping in pipelines management and maintenance.

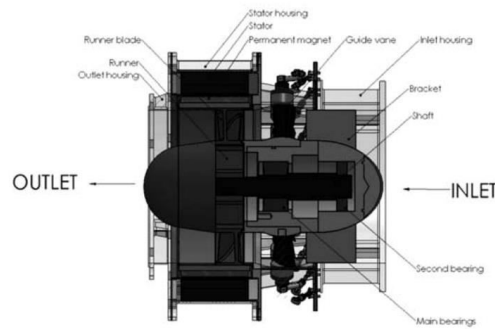


Fig. 13 Integrated turbine with a generator

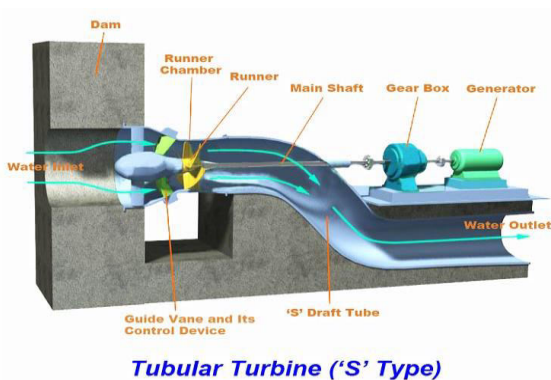


Fig. 14 Tubular turbine with external generator

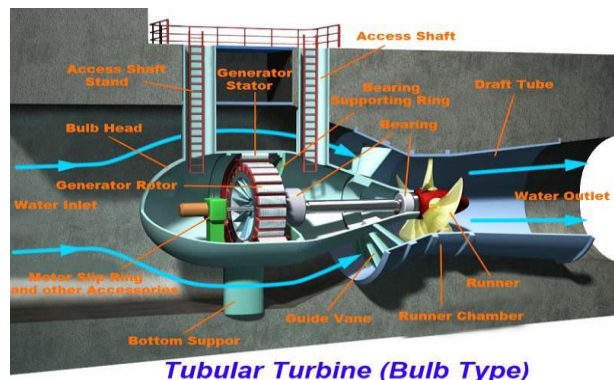


Fig. 15 Tubular turbine with internal generator



Fig. 16 Hydrocoil 600 auger turbine



Fig. 17 Gorlov spherical turbine

This system allows to keep the input speed in the impeller constant as the flow rate varies and therefore to keep the hydraulic load available at the input almost constant. It should be noted that in ITEG the section is fully engaged in

intercepting the fluid and does not require tools to regulate the flow. Many other journal articles [from 9 to 14], books [from 19 to 21] and Conference Proceedings [from 34-37] have been consulted on how to design Archimedes' screws, but did not find devices really similar to ITEG. A special mention deserves the article of Sobczyk T. et al. [15], which presents an integrated turbine with a generator for small hydro-power plants. This study of the Polytechnic University of Krakow has been conducted on a Kaplan type turbine integrated with a permanent magnet generator (fig. 13) through the fixing of magnets on the ends of the blades.

By experiments, in which Sobczyk T. et al. tested the power delivered as a function of the flow rate and the available jump, it has been appreciated the remarkable efficiency of this type of system, both as regards the power output values and the minimal maintenance request necessary to keep the micro system operational. The turbine operates at variable speed and therefore the generator produces voltages at variable magnitude and frequency. For that reason, the generated energy should be converted by a power electronics unit to fit the parameters of the external grid.

The applications of the above mentioned papers, are the integrated systems in pipelines used for the production of hydroelectric energy which, for dimensional reasons, in almost all cases do not exceed 100 kW and therefore are defined as "small hydropower system" (as established by the Directive 2004/101/EC of the European Parliament which includes plants that produce less than 20 MW of power). Integrated systems in the ducts are: tubular turbines (fig. 14) if the generator is external to the duct or (fig. 15) if the generator is also inserted in the duct called in this case a bulb due to the particular shape of the watertight container of the generator), Archimedean screw or auger turbines (fig. 16) which in the specific case of the figure has a progressive number of windings per axial movement unit in order to increase their efficiency due to the decrease in speed of the fluid to travel it (an aspect that could also affect the windings of the ITEG), or the spherical turbines with vertical axis designed by Alexander Gorlov (fig. 17) which can be found applied inside the city drain pipes such as , for example, in the city of Riverside in California. In all these cases the turbine transmits the rotary motion to the rotor by means of belts or shafts etc. ... which further presuppose the presence of bearings that have a limited life and represent a loss of energy due to friction.

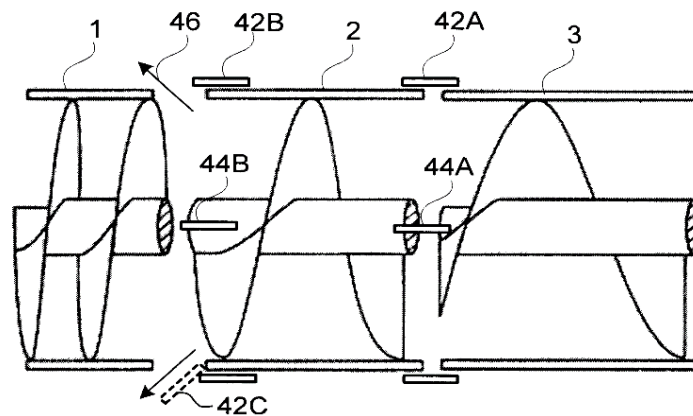


Fig. 18 Ribbon drive power generation patent US6626638

On the contrary, ITEG does not require the presence of transmission parts between the fluid dynamic machine and the electric machine, thus guaranteeing increased mechanical efficiency and a significant lower maintenance

request. In the present study, several patents have been examined and, in the following, some of them, which present analogies with ITEG, are illustrated. The most similar example, in terms of shape and principle of operation, to the turbine used in the ITEG system among those mentioned above, is the turbine named Hydro coil 600 and shown in fig. 16; it has a screw by means of which the fluid dynamic energy is transformed into rotational mechanical energy. The patent US6626638 [39] of Jonathan B. Rosefsky (fig. 18) concerns a device for producing hydroelectric power using a ribbon drive electrical power generator with flow handling improvements related to self-orientation and staged start-up. The key element of this question is that there is a change in the frequency of the curves of the belt-shaped drive, which proceeds from a low frequency (a few windings per unit of length) in the initial portion of the apparatus at a high frequency (many windings per unit of length) in the rear part of the apparatus.

The object resembles a corkscrew but has a decreasing winding frequency proceeding along the length of the central axis. The speed of the fluid is directly proportional to the pitch of the windings (i.e. the angle of inclination of them) and to the rotation speed of the turbine ($v = p\omega$); therefore if it is desired to keep constant or increase ω , the decrease in v must correspond to at least an equal decrease in the pitch p . The reduction in the axial speed of the water is a consequence of the transfer of energy from the water to the appliance, so that it rotates around its central axis. The greater the reduction in axial velocity of the fluid, the more the amount of energy transferred will be. To prevent energy loss on the sides, as happens in the case of an open hydraulic turbine, the screw cochlea works inside a containment tube. The similarity with the turbine of the ITEG system is clear where the flow in the axial direction collides with the walls of the ducts that wind around the central body causing the rotation of the machine. The efficiency of the turbine largely depends on the inclination of the enveloping ducts which must be sized in such a way that the difference between the energy of the incoming and outgoing fluid is maximum.

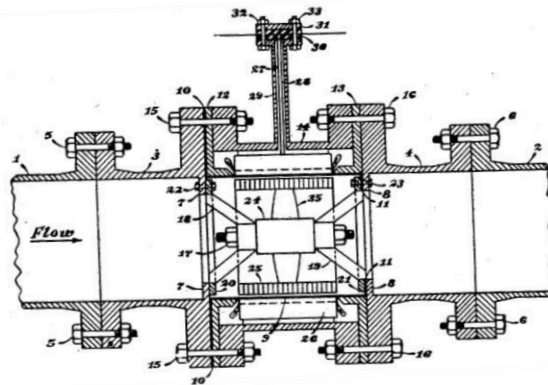


Fig. 19 Patent nr. US2436683A

Patent number US2436683A of Joseph H. Wood [40] present a generator for pipelines providing a mean associated with a pipeline which uses the pressure and flow of the fluid therein to generate electric current which can be utilized to prevent electrolysis in the pipe or for other purposes for which electric energy may be required. As illustrated in fig. 19, the rotor turbine, inserted inside the pipe, is held in position through wires in unspecified material (numbers 18 and 19) and rotates around the shaft (number 17) thanks to the bearings. Permanent magnets

representing the rotor (number 25) are fixed to the ends of the turbine blades, the stator is placed on the outside of the pipe (number 26) and is isolated from the moving fluid through a layer of waterproof material (number 9). The alternating current generated in the stator is then conducted, through the insulated cable (number 28), as suggested in the description of the patent, to the other branch of the pipe (fig. 20) in order to resolve the electrolysis phenomenon.

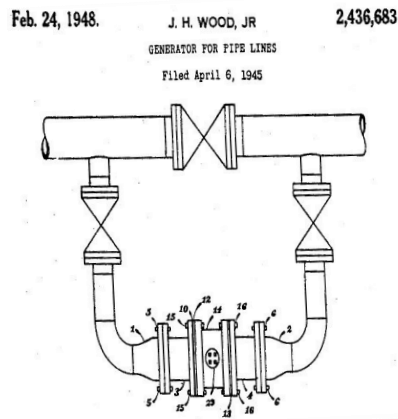


Fig. 20 Patent nr. US2436683A

US patent 3422275A [41], illustrated in fig. 21, has a system like the one previously described. It is a reversible turbine, that is, it can also be used as a centrifugal pump. In this case, the authors of the patent Braikevitch et al. have given greater detail in some parts: in fig. 21 the coupling between rotor and stator is visible, particularly critical as the rotor and the magnetic poles are immersed in the fluid.

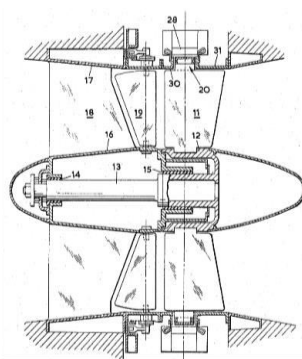


Fig. 21 Patent nr. US3422275A

The poles (number 20) are mounted at the ends of the blades and are made up of different parts: at the base there is a metal ring (number 21), above the coils field (number 24) surround the poles (number 22) and are held in position by polar points (number 25) equipped with countersunk holes in which screws (number 26) that connect the polar points (number 25) to the poles (number 22). The entire pole is then encapsulated in a synthetic resin (number 27)

to isolate it from the fluid. The stator (number 28) is mounted concentrically to the rotor thanks to the flexible annular joints (number 34) tightened with the screws (number 37) between the rings (numbers 35 and 36) and the radial walls of the pipe (numbers 32 and 33) and it has, on the internal perimeter, a plastic membrane (number 29).

More recent studies have been taken into consideration: in particular, those of Stoican (Prisecaru) & Nicolae Băran about a rotating volumetric pump [16] and a rotary machine that can function as a force machine and as a work machine [18]. It has also been examined the study of Almaslamani [17], which could be considered to increase the fluid flow rate in ITEG.

Results and Discussion

Mathematical model

In order to exploit the potential of ITEG, it is necessary to model it by mathematical formulas so as to be able to size it according to the required applications. ITEG can be considered an evolution of the hydraulic screw of Archimedes, also known as the cochlea, made up of a large screw with one or more principles, rotating around a central axis. The lower part is immersed in the liquid or granular material to be lifted. Through the rotation of the screw, a certain amount of material is collected that, for each revolution, advances a distance equal to the screw pitch until, when it reaches the top, it is discharged into a tank or a collection channel. Although it is generally an operating machine as by definition it absorbs energy for carrying out a work, in some applications it can be used as a driving machine and in this case it is known as a screw turbine: the liquid flows into the tube from top to bottom and its downward motion activates the Archimedes screw putting it in rotation and producing kinetic energy that can be collected to generate electric energy. The constructive analogy is between ITEG and an Archimedes' screw with more principles, in which every principle can be associated to a duct of ITEG. At each circular crown there are a variable number of ducts. It can therefore be considered that each circular section corresponds to a screw that does not develop axially but which juxtaposes the principles side by side in a circular arrangement. To define the mathematical model, it has been taken into consideration a rotor whose geometry is made up of circular crowns divided by radial septa, each duct has an isosceles trapezoid shape in which the bases are arcs of circumference and all the ducts have the same pitch p .

Useful volume

The first step is to calculate the volume occupied by the fluid inside the rotor. Looking at the rotor from the front and considering the fluid inlet section, the area occupied by the walls that separate the cavities must be subtracted from the useful section. The starting equation for the volume is:

$$V = S * L \quad (1)$$

The first term that appears in (1) represents the total useful surface of the rotor, that is, the one that encounters the fluid. To calculate the total useful surface of the rotor, the calculation has been divided for circular crowns. The surface of the circular crown is the total area of the circle with a larger radius minus the area occupied by the circle with a smaller radius. The area of a generic circular crown j is therefore:

$$Ac = \pi(R_j^2 - r_j^2) \quad (2)$$

where R_j is the maximum radius and r_j is the minimum radius of the circular crown j .

As regards the area occupied by one radial wall, it is necessary to make the difference between the external radius R and the internal radius r of the rotor and multiply it by the thickness of the walls:

$$Ar = (R - r) * s \quad (3)$$

Since the rotor has several circular crowns it is enough to repeat the operation for all the sections and to obtain the total useful surface given by:

$$S = \pi(R^2 - r^2) - [\sum_{j=1}^k \pi(R_j^2 - r_j^2) + (R - r) * s * n] \quad (4)$$

with k equal to the number of circular crowns and n equal to the number of radial walls.

As for L calculation, considering a generic circular crown j , the length L_j of the duct is given by the formula:

$$L_j = \sqrt{\left(2 \frac{r_j + R_{j-1}}{2} \pi\right)^2 + (m * p)^2} \quad (5)$$

where m is a coefficient equal to 1 if the length of the rotor is equal to p . By iterating the procedure on all the circular crowns, the relative lengths are calculated. The average value of the lengths of the L_j is equal, with good approximation, to the L value sought. A more precise calculation may be made, but it is beyond the scope of this paper. Therefore, the useful volume of the rotor is:

$$V = \{\pi(R^2 - r^2) - [\sum_{j=1}^k \pi(R_j^2 - r_j^2) + (R - r) * s * n]\} * L \quad (6)$$

Flow

Consider a generic circular crown j , made up of many adjacent ducts, all at the same distance from the rotation axis and a generic duct inside this circular crown: it has a helical shape with a pitch p_j and it can be assimilated to a Archimedes screw with one principle. The volume of a duct, for a complete pitch p_j , is equal to V_j and imagine that it is filled with the fluid. At each complete turn of the rotor, a volume of fluid equal to V_j comes out of the end of the duct. This is intuitive if the length of the rotor is equal to one pitch. For example, if the length of the rotor is half of l , at each turn $\frac{1}{2} V_j$ will come out twice, that is again V_j , a result that can be considered valid in general. Considering all the ducts, and setting:

V = total useful volume, n = number of revolutions/units of time

the flow rate Q is:

$$Q = n * V \quad (7)$$

Efficiency

A fundamental part of the calculation model is the estimation of the machine's efficiency. The efficiency of a turbine or pump is defined as the product of several partial efficiencies (volumetric, mechanical and hydraulic), which concern different technical specifications [19]. The energy losses that occur within a driving machine are of

a different nature. The hydraulic losses are due to the dissipation of energy following impacts, deviations or section variations that are encountered by the fluid threads during their journey. For the hydraulic machine to perform optimally, when building it, two basic rules must be kept present. The latter are called "hydraulic aphorisms" [19] and their respect and observance allow to obtain acceptable values of hydraulic efficiency: the fluid must enter without impact and exit with the minimum possible speed. The first condition is understandable as each impact dissipates a certain amount of energy at the expense of the useful work produced. The second is justified by the need to use the most part of the kinetic energy possessed by the fluid at the inlet of the rotor. In designing the rotor, these aphorisms were considered to make the hydraulic efficiency as high as possible and so it can be estimated as:

$$\eta_i = 0.95 - 0.99$$

The volumetric losses are constituted by the quantity of liquid which, although it has been processed by the machine, is not conveyed to the delivery pipe because of games or liquid leaks through the sealing elements towards the outside. Most part of the fluid will encounter the useful surface and there will be liquid leaks extremely limited:

$$\eta_v = 0.99$$

The mechanical losses are due to the dissipation of energy necessary to overcome the frictions of the components. The mechanical frictions will be practically zero as the rotor "floats" in a magnetic field and, for this reason, it must not overcome the frictions between the bearings and rotor typical of hydraulic machines:

$$\eta_m = 0.99$$

The total efficiency of the machine, given by the product of the three partial efficiencies, will therefore be very high and will be in a range between 0.95 and 0.98.

$$\eta = \eta_v * \eta_m * \eta_i$$

Powers

Knowing the flow rate, the total efficiency of the machine and other technical characteristics such as the input and output quota of the fluid, the nature of the latter, the initial and final pressure and the difference in height to be covered, the losses inside the pipes, it is possible to calculate the power of the machine [19]. For pumps or turbines that move or exploit fluids it is necessary to refer to the Bernoulli principle [19], applied to two generic sections of the pipe: "the energy possessed by the fluid in section 2 is equal to the energy it possesses in section 1, less continuous load losses (in the segment of duct between the two sections considered) and accidental losses". Indicating the continuous losses with Y and with $\sum y$ the sum of the accidental ones, the Bernoulli equation is:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - Y - \sum y = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (8)$$

where z is the elevation of the section with respect to a reference plane, p and v are the pressure and velocity of the fluid. If there is an exchange of energy with the outside, due to the presence of a hydraulic machine inserted in the section considered, the relationship is modified as follows:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - Y - \sum y \pm L_i = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (9)$$

The term L_i in the first member is the work exchanged with the machine by a weight unit of the flowing fluid. As for the \pm sign, if an operating machine (for example a pump) is inserted between two sections, it is in a position to supply energy to the fluid passing through it and therefore the term L_i must be considered positive since the final energy will undoubtedly be greater than the initial one; reasoning in a similar way, the work L_i is considered negative when a driving machine is inserted in the section considered which, by absorbing energy from the operating fluid, produces mechanical work. Using ITEG as a turbine, the power P generated is defined as the product of the flow rate multiplied by the net jump H and the specific weight of the fluid γ . In case of use of ITEG as a pump, to give the fluid the prevalence H , it is necessary to supply the liquid with the power P :

$$P = Q * H * \gamma \quad (10)$$

The calculated power is for an ideal machine, whose efficiency is unitary. ITEG has a very high but not unitary efficiency η , estimated between 0.95 and 0.98. By multiplying the power by the efficiency, the useful power is obtained for the use as turbine:

$$P_u = Q * H * \gamma * \eta \quad (11)$$

While, for the use as pump, the absorbed power is obtained by:

$$P_a = \frac{P}{\eta} \quad (12)$$

Speed

To study how the speed inside the rotor ducts varies, triangles of speed are drawn at the input and at the output of the rotor [19]. It is necessary to do this because, depending on the radial distance of the ducts from the rotation axis, the triangle of speeds is different. The rotor has its own rotation speed and the fluid lapping the surface in turn has its own speed which for simplicity it is assumed to be perpendicular to the useful surface of the rotor. So, the rotor is characterized by a double reference system. The absolute reference describes how the fluid moves from the point of view of a “fixed observer”. The second is the relative one that describes how the fluid moves inside the ducts from the point of view of an observer united with the rotor. The known formulas of kinematics state the following vector sum:

$$\vec{c} = \vec{v} + \vec{u} \quad (13)$$

where:

\vec{c} is the absolute speed

\vec{v} is the relative speed

\vec{u} is the entrainment speed

With reference to fig. 22, it is assumed the black vector as absolute speed c , the green vector is the relative speed that the fluid has inside the ducts, considering a reference system united with the rotor, and the red vector is the entrainment speed, that is the tangential speed of rotation in correspondence of the considered point. As the rotation axis is approached, the inclination of v decreases as the twisting of the ducts becomes lower. The entrainment speed is linked by the relation $u = \omega * r$, where the angular speed $\omega = \frac{2\pi n}{60}$, remains constant at every distance r from the rotation axis. What varies is u , which will increase as the radius increases. Since c is known and, knowing the number of turns n , u and ω , the unknown is v , whose inclination must be parallel to the wall of the duct, in order to satisfy the first hydraulic aphorism.

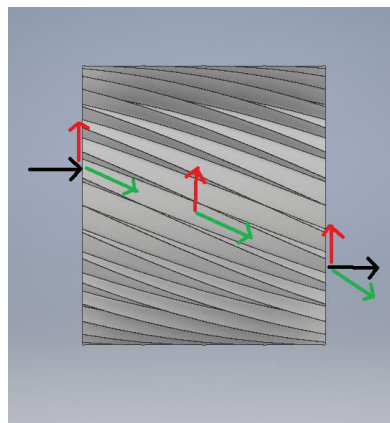


Fig. 22 Speed vectors

A further analysis is carried out on the inclination of the ducts as it decreases approaching the axis of rotation: the innermost shafts will be less inclined than the outermost shafts as the rotor pitch is constant for all levels. To find the angle of inclination α of the duct, indicating with p the pitch and d the diameter, it is used the following formula:

$$\alpha = 180 - (90 + \beta) \quad (14)$$

where $\beta = \arctg\left(\frac{p}{2\pi d}\right)$

It is so possible to draw the speed triangles, fig. 23, 24, in which the subscripts 1 and 2 express respectively the input and output speeds.

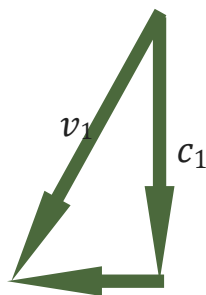


Fig. 23 Triangle of input speeds

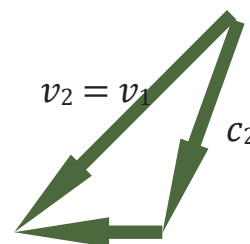


Fig. 24 Triangle of output speeds

As the section of the duct is constant, if the slight losses encountered while crossing the ducts (pressure drops) are neglected, the relative exit speed will have the same value in module as the relative entry speed:

$$v_1 = v_2 \quad (15)$$

The relative input speed vector will be the difference between the absolute fluid and peripheral speed input vectors of the rotor (fig. 23).

$$\vec{v}_1 = \vec{c}_1 - \vec{u}_1 \quad (16)$$

Since the rotor is a rigid body, it results that:

$$\vec{u}_1 = \vec{u}_2 \quad (17)$$

Considering that the direction of \vec{v}_2 will be parallel to the duct as in fig. 22, and from the relations (15), (16) and (17), it follows the triangle of the output speeds in fig. 24.

The kinematic energy transferred to the turbine is a function of the difference in absolute speed of the fluid entering and leaving it:

$$\Delta E_{fluid} = \frac{1}{2} \rho V_{fluid} (c_1^2 - c_2^2) \quad (18)$$

The choice of a "light" material, in addition to promoting flotation, is an advantage for the transformation of fluid dynamic energy into electrical energy. In fact, the energy of a rotor is directly proportional to its inertia "I" that depends on the mass:

$$\Delta E_{fluid} = E_{ITEG} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (19)$$

where

$$I = \int_{V_{iteg}} r^2 dm \quad (20)$$

In which r is the radius, distance of the mass from the rotation axis.

Given that the goal is to have a rotor that rotates as fast as possible, from formula (19) it can be deduced that the angular speed of the magnets is inversely proportional to the inertia of the turbine. Consequently, the lower the mass the faster the rotor will be. The fluid will enter the turbine with a certain absolute speed c_1 and will leave it with a speed c_2 lower than the previous. Considering that ω of the turbine is equal in all its points having the same distance a from the axis of rotation, it follows that the fluid will pass through the turbine with constant speed and in particular this speed will be equal to the relative speed v . Following these considerations, it is possible to write the relationship between the angular speed of the rotor ω and the speed of the fluid coming out the turbine v_{out} :

$$\omega = \frac{v_{out}}{p} = \frac{v_{out}}{2 r \pi \tan \alpha} \quad (21)$$

Where p indicates the pitch and r the radius.

From (21) it is possible to derive the relationship between the speed possessed by the fluid with the peripheral speed of the rotor:

$$u = r \omega \quad (22)$$

replacing (21) in (22):

$$v_{out} = 2 u \pi \tan \alpha \quad (23)$$

The fundamental turbine equation, derived from the Bernoulli principle:

$$L_i = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} \quad (24)$$

expresses, in the most generic way, the hydraulic work developed by a unit weight of operating fluid (g is the acceleration of gravity). Considering a generic "circular crown" of ducts, having a constant section, it can be deduced that:

- v is constant in modulus, for the continuity equation, as the section is constant
- u is constant, as the distance from the rotation axis is constant

It follows that:

$$L_i = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g} \quad (25)$$

The hydraulic work is greater when it's greater the difference in the absolute input and output speeds; in particular, by reducing c_2 , the work developed is increased, in accordance with the second hydraulic aphorism. This reduction in speed involves a free outlet or, if inside a pipe, an increase in the available section or, if the section is constant, an increase of the fluid pressure.

It has been said that ITEG can be assimilated to a set of concentric circular crowns, each consisting of adjacent ducts. These ducts, belonging to the same circular crown, can be schematized as a multi-principle screw. All circular crowns have the same pitch. As a result, the ducts of the circular crowns closest to the rotation axis will have a shorter length than those of the outermost crowns. Since the fluid arrives with the same absolute speed over the entire surface of the rotor, it could be thought that, crossing different lengths, the crossing times would be different, with imbalances in the flow rate. In reality, we must think in terms of relative speeds; moving away from the rotation axis, the rotation speeds u increases (due to the increase in the radius) and therefore, combining vectorially with the absolute speeds c (all equal) they generate relative speeds v progressively higher moving towards the outside: the fluid then flows through the external (longer) ducts with higher speeds. This phenomenon leads to a substantial equality of the crossing times of the ducts.

Forces

Let's consider ITEG in a turbine configuration, with a vertical fluid flow, parallel to the rotation axis. It is possible to describe the interactions between the mass of fluid and the walls of the turbine independently from the thermodynamic, chemical or physical transformations possibly undergone by the fluid; starting from the conservation of momentum or the impulse equation, the relationship (26) is obtained:

$$\vec{F} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_0} \rho \vec{v} d\Omega + \int_{S_1, S_2} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dS - \int_{S_1, S_2} p \vec{n} dS - \int_{S_1, S_2} \vec{\tau} t dS + \int_{\Omega_0} \rho \vec{g} d\Omega \quad (26)$$

Where it is:

τ and p are the modules of the results of the tangential and normal stresses respectively acting on the surface dS with vectors \vec{t} and \vec{n} .

The various terms are analyzed:

$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_0} \rho \vec{v} d\Omega$ represents the effect of the inertia of the system on local variations of density and speed over time and is null for permanent speeds.

$\int_{S_1, S_2} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dS$ indicates the flow of the momentum of the fluid through S_1 and S_2 .

$\int_{S_1, S_2} p \vec{n} dS$ represents the thrust that the contour surface exerts on the fluid which is therefore equal and opposite to that which the wall will receive of the fluid.

$\int_{S_1, S_2} \tau \vec{t} dS$ is the contribution given by the viscous frictions generated by the flow of the fluid on the walls.

$\int_{\Omega_0} \rho g d\Omega$ represents the weight of the mass of fluid in the volume Ω .

In the hypotheses of steady state and absence of viscous effects, valid with good approximation for machines operating with air or water (as in the case in question), and neglecting the forces of volume, it is possible to write

$$\vec{F} = \int_{S_1, S_2} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dS + \int_{S_1, S_2} p \vec{n} dS \quad (27)$$

Considering the flow, in this case, one-dimensional it is obtained:

$$\vec{F} = \dot{m}(\vec{v}_1 - \vec{v}_2) + p_1 S_1 \vec{n}_1 - p_2 S_2 \vec{n}_2 \quad (28)$$

with \vec{v}_1 and \vec{v}_2 the components of the normal speeds are indicated in sections S_1 and S_2 and with \dot{m} the mass flow (ρQ).

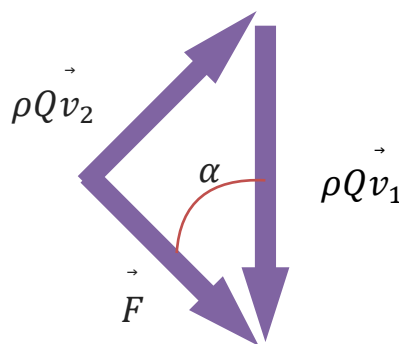


Fig. 25 Vectorial sum to find the force F

It has been observed that the fluid enters the turbine ducts with speed \vec{v}_1 in the vertical direction and collides the wall of the duct inclined at an angle α with respect to the horizontal, considering the zero pressure difference ($p_1 - p_2 = 0$), the relation (25), can be written as:

$$\vec{F} = \dot{m}(\vec{v}_1 - \vec{v}_2) \quad (29)$$

The force \vec{F} (fig. 25) represents the thrust that the wall of the turbine duct impresses on the fluid and is equal and opposite to that which it will undergo.

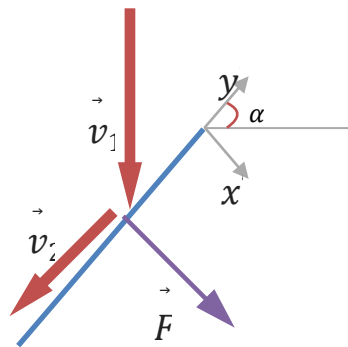


Fig. 26 - Force generated by the collision of the fluid against the wall of a turbine duct

This force can be divided into two components: one long x' (orthogonal to the wall of the duct) and one long y' (parallel to the duct) as shown in fig. 26. If the wall were fixed, the velocity \vec{v}_1 would deviate in \vec{v}_2 parallel to the duct as it would slide along it.

Therefore:

$$\vec{F} = \dot{m}(\vec{v}_1 - \vec{v}_2) = \dot{m}(\vec{v}_1 + (-\vec{v}_2)) \quad (30)$$

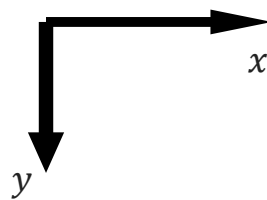


Fig.27 Reference axes

Since the frictions between fluid and wall are neglected, there will be no forces in the direction of the latter, consequently the thrust that the wall undergoes is directed orthogonally to it.

$$F_{y'} = 0 \quad (31)$$

$$F = F_{x'} = \rho Q v_1 \cos \alpha \quad (32)$$

In the hypothesized configuration, and by suitably shaping the pipe in which the rotor is housed, an effect of self-floating of the rotor itself could be obtained. To make the turbine float, the sum of the forces directed along the

y axis (reference to the axes in fig. 27) must be zero ($F_y - F_g + F_p = 0$). This condition depends on the volume of the internal hollow cylinder and the weight of the turbine itself. In order to minimize the latter, the choice of material of which the turbine will be made must fall on materials with a very low specific weight. For this reason, plastics are excellent candidates which, in addition to having an average density of less than 1 kg / dm^3 , are used by 3D printers, which represent a precise and effective method of producing the turbine.

$$\vec{F}_g = V_{iteg} \rho g = S_{iteg} h_{iteg} \rho g \quad (33)$$

$$\vec{F}_p = V_{iteg} \rho_{iteg} g = S_{iteg} h_{iteg} \rho_{iteg} g \quad (34)$$

where

$$h = p n = \pi D_{est} (\tan \alpha) n \quad (35)$$

n number of turns of the windings

p pitch of the windings

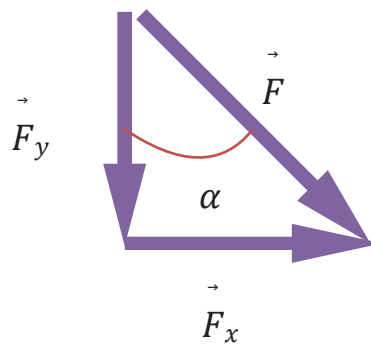


Fig. 28 Decomposition of F

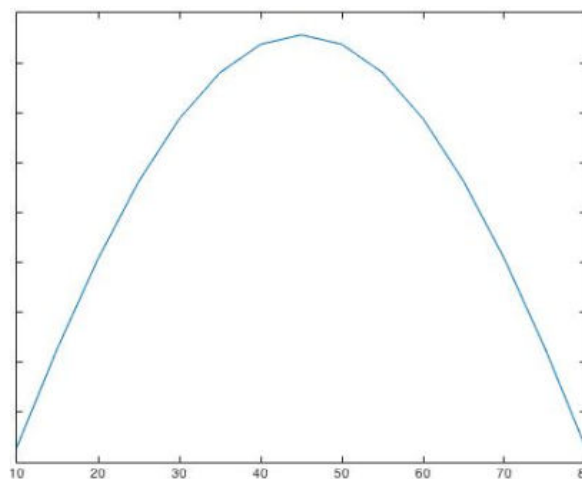


Fig. 29 Graph of the trend of the force in the x direction as the angle of inclination of the turbine pipes changes

So, it is obtained:

$$\vec{F}_g = S_{int} \pi D_{est} (\tan) n \rho g \quad (36)$$

As can be understood from the decomposition of \vec{F} in fig. 28.

$$\vec{F}_y = \rho Q v_1 \cos^2 \alpha \quad (37)$$

The thrust in the x direction is responsible for the rotation of the turbine as it is orthogonal to the axis of rotation:

$$\vec{F}_x = \rho Q v_1 \cos \sin \alpha \quad (38)$$

Since the direct force along x is responsible for the rotation of the turbine, and the angular velocity of this increases with the increase of the force in question, it is of interest to find the inclination of the rotor pipes that maximizes the thrust in this direction. By deriving the (38) with respect to the angle α and equaling it to zero, it is possible to find the value of α for which the force F_x is maximum:

$$\frac{\delta F_x}{\delta \alpha} = 0 \quad \text{---} \quad \rho Q v_1 \cos(2\alpha) = 0 \quad (39)$$

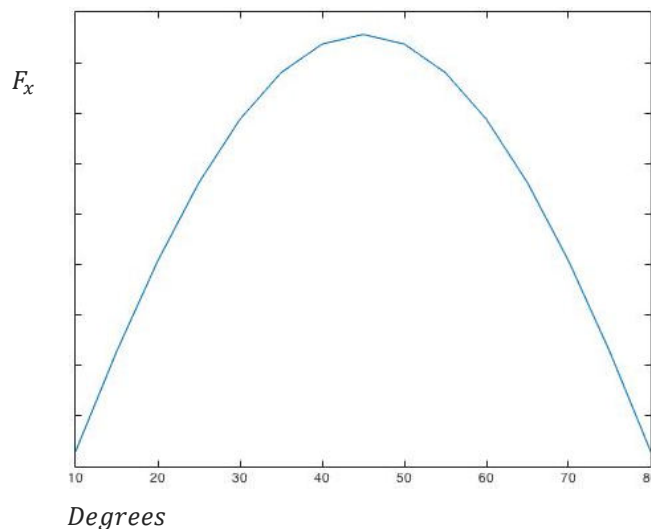


Fig. 30 Graph of the trend of in the x direction as the angle of inclination of the turbine pipes changes

From the derivative (39), and from the representation in graph of (38) in fig. 29, it is possible to deduce that F_x is maximum for $\alpha = 45^\circ$.

Conclusions

The paper has presented an innovative fluid machine having a dual function, as it can be used as pump and as turbine. The rotor is the cylindrical component that plays a fundamental role in ITEG. It represents the rotating component of the machine whose purpose is to intercept the fluid that laps against its own useful surface. The rotor, in the “pump” configuration, gives energy to the fluid or, in the “turbine” configuration, transforms the kinetic energy possessed by the fluid into mechanical (rotational) energy. In all the examples treated in the literature

review, the turbines / generator are kept in axis with the help of bearings that, although significantly reduced in number, compared to systems in which the generator is not integrated in the turbine, still represent a critical components, especially if they are placed in contact with fluids that deteriorate them prematurely. There are already on the market various turbine systems integrated in the pipes for a multitude of cases of application, but all cases present substantial differences compared to ITEG. It has, in fact, the advantageous peculiarity of being completely free of mechanical bearings. The correct position of the rotor is assured by magnetic bearings, friction-free, in favor of efficiency. Moreover, it is thinkable to design a rotor that, in specific conditions, is able to float in the fluid, in "self-floating". Therefore, the ITEG efficiency remains constant and always equal to very high values and this confirms the fact that, also due to variations in the flow that can occur during the course of the year along a river or course of water, the machine will work maintaining a high efficiency. Ultimately, ITEG is characterized by a perfect symmetry (reversible axial action), reduced turbulence (thanks to the high resolution of the helical grooves), no need for axial mechanical supports (bearings or thrust bearings) and a high structural resistance (given by the implicit tension-structure and therefore less bending / deformation with respect to bending / twisting in the blades), that make it unique.

Patents

Farné S., Lavanga V., ITEG – ITEG - INTEGRATED TURBINE ELECTRIC GENERATOR – ITALY PATENT NR. N. 102018000011105 of 12/11/2020 registered at UIBM Rome (Italy) - International Application No. PCT/IT2018/000164 - Publication Number WO/2019/116406 - Publication Date 20.06.2019 – ITEG.

Acknowledgments: Dr. Vito Lavanga, freelance researcher and inventor.

References

Journal Articles

1. Stergiopoulou, A.; Stergiopoulos, V. Archimedes in Cephalonia and in Euripus Strait: Modern Horizontal Archimedean Screw Turbines for Recovering Marine Power. *Journal of Engineering Science and Technology* 2013, Review 6 (1), 44 -51
2. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V. Quo Vadis Archimedean Turbines Nowadays in Greece, in the Era of Transition. *Journal of Environmental Science and Engineering* 2012, A 1, 499-509
3. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V. Back to the Future: Rediscovering the Archimedean Screws as Modern Turbines for Harnessing Greek Small Hydropower Potential. *Fresenius Environmental Bulletin* 2013, PSP Volume 22 – No 7a, 2053- 2058
4. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V. Archimedes in Cephalonia and in Euripus Strait: Modern Horizontal Archimedean Screw Turbines for Recovering Marine Power. *Journal of Engineering Science and Technology* Review 2013, 6 (1), 44 -51
5. Stergiopoulou A.; Kalkani E. Towards a C.F.D. Study of Innovative Archimedean Inclined Axis Hydropower Turbines. *International Journal of Engineering Research & Technology* 2013, 2 (9), 193–199

6. Stergiopoulou A.; Kalkani E. Investigating the Hydrodynamic Behavior of Innovative Archimedean Hydropower Turbines. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sci.* 2013, Volume 17, Issue 1
7. Casini M. Harvesting energy from in-pipe hydro systems at urban and building scale. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy* 2015, vol. 4, no. 4, 316-327
8. Sinagra M.; Sammartano V.; Aricò C.; Collura A.; Tucciarelli T. Cross-flow Turbine Design for Variable Operating Conditions. *Procedia Engineering* 2014, Volume 70, 1539-1548
9. Raza A.; Mian M.S.; Saleem Y. Modeling of Archimedes Turbine for low head hydro power plant in Simulink MATLAB. *International Journal of Engineering Research & Technology* 2013, 2 (7), 2471–2477.
10. Nuernbergk D.; Rorres C. An Analytical Model for the Water Inflow of an Archimedes Screw Used in Hydropower Generation. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering* 2013, Vol. 139, Issue 2, 213–220
11. Fiardi E. Preliminary Design Preliminary design of Archimedean Screw Turbine Prototype for Remote Area Power Supply. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace* 2014, 5, 30–33
12. Müller G.; Senior J. Simplified theory of Archimedean Screws. *J. of Hydraulic Res.* 2009, 47 (5), 666–669.
13. Rorres C. The turn of the Screw: Optimal Design screw: optimal design of an Archimedes Screw. *Journal of Hydraulic Engineering* 2000, 126 (1), 72–80
14. Shimomura M.; Takano M. Modeling and performance analysis of Archimedes screw hydro turbine using moving particle semi-implicit method. *Journal of Computational Science and Technology* 2014, 338–353
15. Sobczyk T.; Wegiel T., Grahl-Madsen M., Styrylski M. Integrated turbine with PM generator for small hydro-power plants. *Technical Transaction Politechniki Krakowskiej* 2010, Issue 17, 99-111
16. Mariana Mirela Stoican (Prisecaru) & Nicolae Băran. Rotating Volumetric Pump for Wastewater Conveyance. *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)*. 2019, Volume 3, Issue 4, Pages 194-198
17. Ammar Fadhil Shnawa Almaslamani. Researches on the Influence of Geometric and Functional Parameters on the Flow Rate of a Rotating Machine with Profiled Rotors. *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)* 2020, Volume 4, Issue 1, Pages 120-126
18. Mariana Mirela Stoican (Prisecaru) & Nicolae Băran. A Constructive Solution that Can Function As a Force Machine or As a Work Machine. *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)* 2020, Volume 4, Issue 2, Pages 97-107, April-June 2020

Books

19. Farné S. *Macchine. Macchine idrauliche*, 1st ed.; Collana Synopsis, Casa editrice Medea: Pavia, Italy
20. Nagel. *Archimedean screw pump handbook*, 1968, RITZ-Pumpenfabrik OHG: Nurnberg, Germany.
21. European Small Hydropower Association. *A Layman's Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site*. 1998, ESHA

Conference Proceedings:

22. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V.; Kalkani E. An Eagle 's CFD view of studying innovative Archimedean Screw Renewable Hydraulic Energy Systems. Proceedings of the 4th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) and SECOTOX Conference, Mykonos, 2013, 454-459
23. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V. From the old Archimedean Screw Pumps to the new Archimedean Screw Turbines for Hydropower Production in Greece. Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning & Economics (CEMEPE 2009), Mykonos, 2009
24. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V.; Kalkani E. A brief Archimedean history: from ancient spiral screws to modern Archimedean hydropower energy tools, Proceedings of the eRA-5 International Conference, Athens, 2010
25. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V.; Kalkani E. Back to the Future: Rediscovering the Archimedean Screws. Proceedings of the Third International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2011) & SECOTOX Conference, Skiathos, 2011
26. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V. The paradox of coastal cross flow in Cephalonia island. Proceedings of the 6th International Symposium on Environmental Hydraulics, Athens, 2010
27. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V. From the old Archimedean Screw Pumps to the new Archimedean Screw Turbines for Hydropower Production in Greece. Proceedings of SECOTOX and CEMEPE Conf., Mykonos, 2009
28. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V. Return of Archimedes: Harnessing with new Archimedean spirals the hydraulic potential of the Greek watercourses. Proceedings of the Conference for Climate Change-Sustainable development and Renewable Energy Sources, Thessaloniki, 2009.
29. Stergiopoulou A.; Kalkani E. Investigation of the hydrodynamic behaviour of innovative cochlear turbines. Proceedings of the 12th EYE and 8th EEDYP Conference, Patras, 2012.
30. Stergiopoulos A.; Stergiopoulou V.; Kalkani E. Quo Vadis Archimedes Nowadays in Greece? Towards Modern Archimedean Turbines for Recovering Greek Small Hydropower Potential. Proceedings of the 3rd International Scientific "Energy and Climate Change" Conference, Athens, 2010
31. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V. Greece in the Era of Transition: Archimedean Soft Small Hydropower Development Terra Incognita. Proceedings of 5th International CEST2013_0196 Conference Protection and Restoration of the Environment XI, Thessaloniki, 2012, 1429-1438
32. Stergiopoulou A. et al. Towards Horizontal-Axis Archimedean Kinetic Energy Conversion Systems in Cephalonia and in Euripus Strait. Proceedings of International Conference IC-SCCE, Athens, 2012, 468-475
33. Stergiopoulou A.; Stergiopoulos V.; Tsioulos D.I.; Stylianou A.S. Two innovative experimental Archimedean Screw Energy Models in the Shadow of Archimedes. Proceedings of the 5th International Conference on Experiments / Process / System Modeling / Simulation / Optimization, Athens, 2013

34. Stergiopoulou A., Stergiopoulos V., Kalkani E. et al. Towards a first C.F.D. Study of Innovative Archimedean Kinetic Energy Conversion Systems in Greece. Proceedings of the 5th IC-EpsMsO, 2013, 634-640
35. Williamson S. J.; Stark B. H.; Booker J. D. Low Head Pico Hydro Turbine Selection using a Multi-Criteria Analysis. World Renewable Energy Congress, 2011, 44(0), 1377–1385.
36. Koetsier T.; Blauwendraat H. The Archimedean Screw-Pump: a note on its invention and the development of the theory. Proceedings of the international symposium on history of machines and mechanisms, 2004, vol. 5, 181–94
37. Lyons M.; Lubitz W.D. Archimedes Screws for micro hydro power generation. Proceedings of the ASME 7th International Conference on Energy Sustainability & 11th Fuel Cell Science, 2013
38. M.W.K. Lyons, “Lab Testing Lab testing and Modeling of Archimedes Screw Turbines,” Archimedes screw turbines, 2014, University of Guelph; Guelph.

Patents

39. Rosefsky J.B. (2003), Ribbon drive power generation for variable flow conditions, Patent number: US 6626638, <https://patents.justia.com/patent/6626638>;
40. Wood J. H. (1945), Generator for pipelines, Patent number: US2436683A, <https://patents.google.com/patent/US2436683A/en>
41. Michael Braikevitch M; Bruce D. A. Water turbines, pumps and reversible pump turbines, Patent number: US3422275A, <https://patents.google.com/patent/US3422275A/en>