

# Ottimizzazione di una pompa centrifuga per raffreddamento motore

Marzo 2021

# Introduzione

- Ottimizzare una pompa centrifuga per migliorarne l'efficienza e le prestazioni, senza però modificare il casing della pompa stessa, senza aumentarne le dimensioni, lavorando quindi solo sulla forma delle palette e delle superfici della girante, è un'esigenza sempre più sentita in campo industriale, anche per ridurre i costi di realizzazione e messa in opera del componente.
- Lo studio riassunto in queste pagine, vuole mostrare come le prestazioni di una pompa centrifuga tipica di un'applicazione automotive possano essere migliorate andando a toccare dei parametri «non usuali» nella progettazione delle giranti.
- L'analisi fatta consente anche di determinare quali siano i parametri più significativi in termini di prestazione, al di fuori dei classici «aumento del diametro della macchina, aumento della velocità di rotazione, introduzione di una pala3D». Chiaramente i «parametri minori» utilizzati in questo studio avranno un effetto meno incisivo di un completo nuovo design di girante, ma consentono delle modifiche non invasive che permettono un miglioramento di prestazione intorno al 5%.
- Vediamo come è stato condotto lo studio...

# Players

- I players di questo studio sono 3 software:
  - CFturbo, software per la progettazione macchine centrifughe

The logo for CFturbo, consisting of the text "CFturbo" in a bold, black, sans-serif font, centered within a solid yellow rectangular background.

- IMPROVEit: software di ottimizzazione

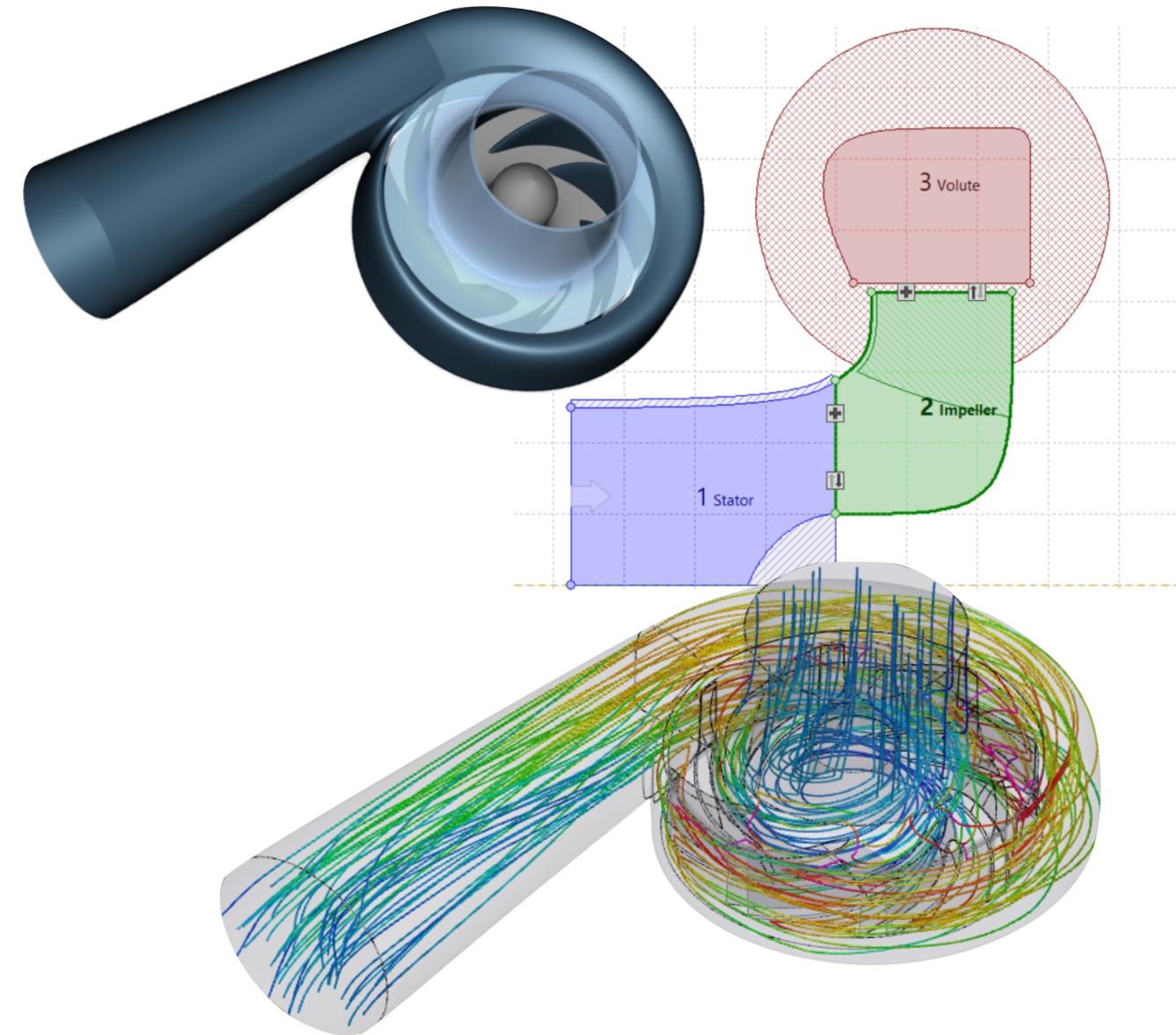
The logo for IMPROVEit, featuring a stylized icon of a person with arms raised in orange and black, followed by the text "IMPROVEit" in a bold, black, sans-serif font.

- SimericsMP+: software di simulazione fluidodinamica

The logo for Simerics, featuring a stylized icon of three interlocking loops in green, red, and blue, followed by the text "Simerics" in a bold, blue, sans-serif font, and "TECHNOLOGY BY DESIGN" in a smaller, black, sans-serif font below it.

# Step 1: Caso Base

- La pompa presa in esame è una pompa già esistente, precedentemente progettata all'interno di Cfturbo, utilizzata per il raffreddamento di motori automobilistici.
- Il punto di progetto per questa pompa corrisponde ad una portata di 1 [m<sup>3</sup>/h] e un'alzata di 1 [m] a 3000 [rpm].
- Essendo una pompa di raffreddamento è stata progettata per un liquido refrigerante: glicole con densità pari a 1064.9 [Kg/m<sup>3</sup>]
- Sulla pompa, al punto di progetto è stata eseguita un'analisi CFD, che ha dato il risultato riassunto nella tabella sottostante.
- Questi dati rappresentano la base di partenza sulla quale costruire l'ottimizzazione.



Alzata	Potenza richiesta	Potenza fornita	Efficienza
1.13 m	6.2 Watt	3.28 Watt	52.82%

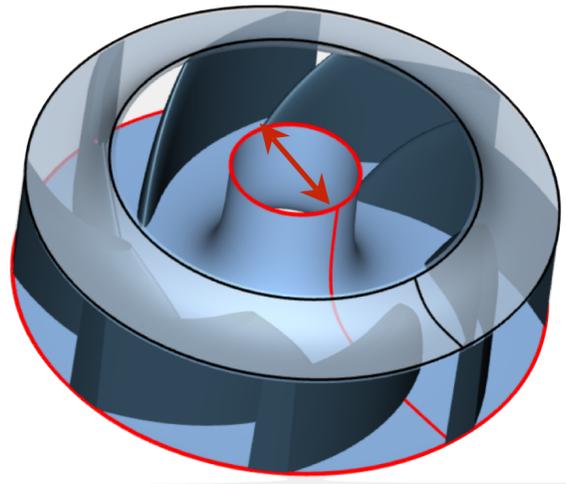
## Step 2: Parametri sui quali intervenire

- Per l'ottimizzazione di questa pompa, si è voluto puntare su grandezze geometriche che non vengono «tradizionalmente» modificate quando si cerca di migliorare una pompa centrifuga. Queste grandezze prese in esame non vanno a modificare gli aspetti costruttivi e di accoppiamento della pompa esistente.
- CFturbo in particolare consente di modificare molti aspetti della geometria di una pompa centrifuga per tutti i suoi componenti sia statorici (statore, voluta etc) sia rotorici (girante).
- In questo studio ci si è concentrati sulla girante e sulle seguenti grandezze geometriche:
  - a. Diametro dell'hub
  - b. Diametro di suction
  - c. Altezza outlet: distanza tra hub e shroud all'uscita della girante
  - d. Angolo all'inlet meridiano
  - e. Angolo all'outlet meridiano
  - f. Tip clearance all'inlet
  - g. Tip clearance all'outlet

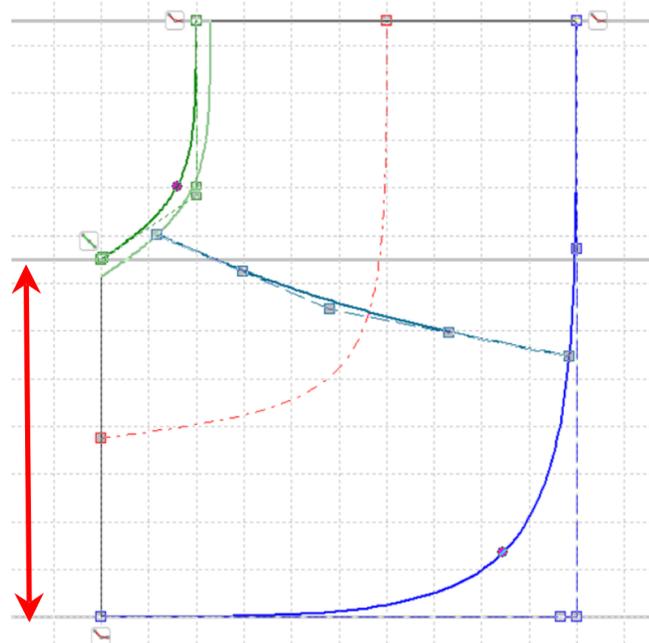
Vediamole in dettaglio...

# Step 2: Parametri sui quali intervenire

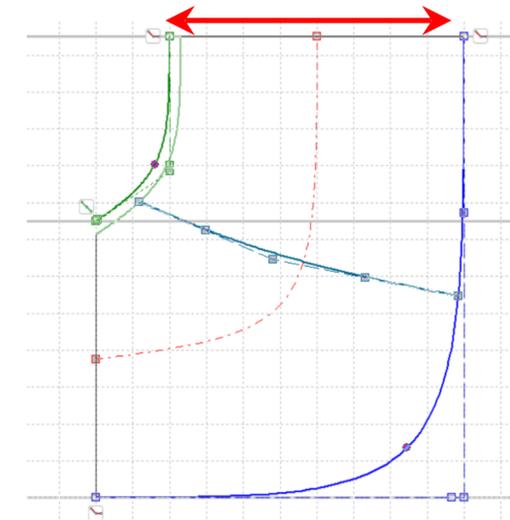
a) Diametro di Hub



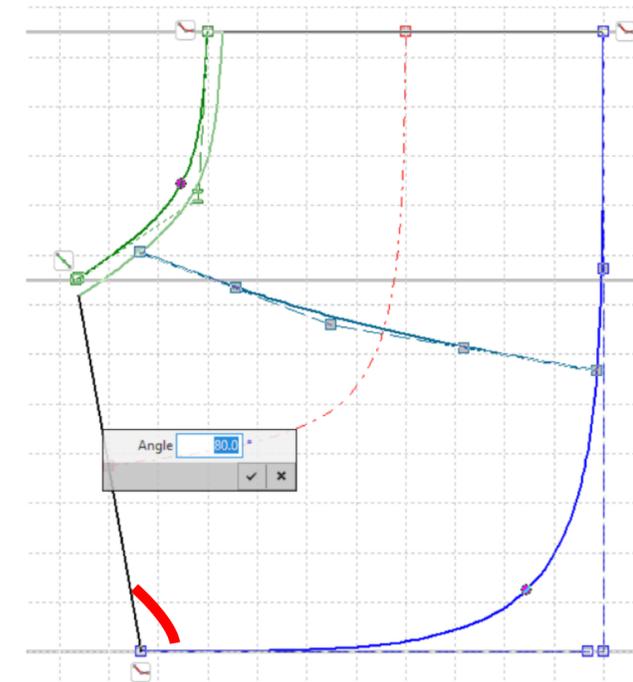
b) Diametro di Suction



c) Altezza outlet

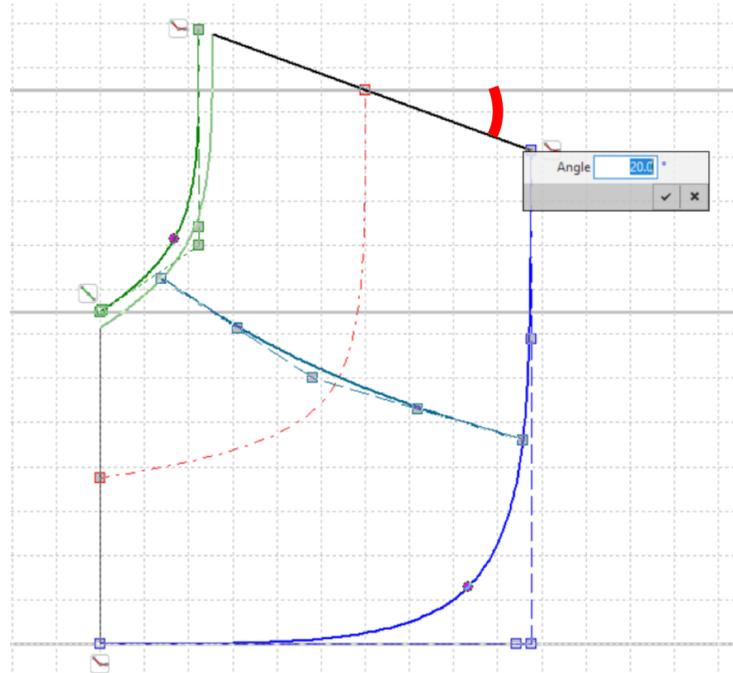


d) Angolo dell'Inlet meridiano

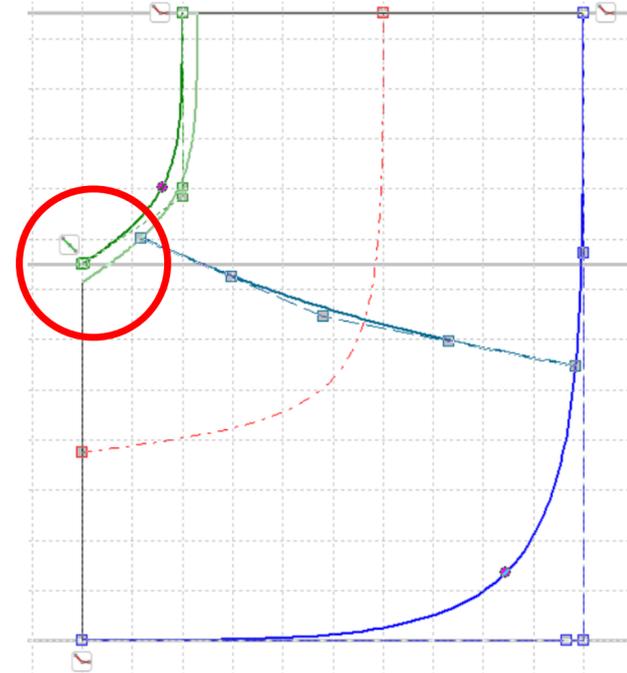


# Step 2: Parametri sui quali intervenire

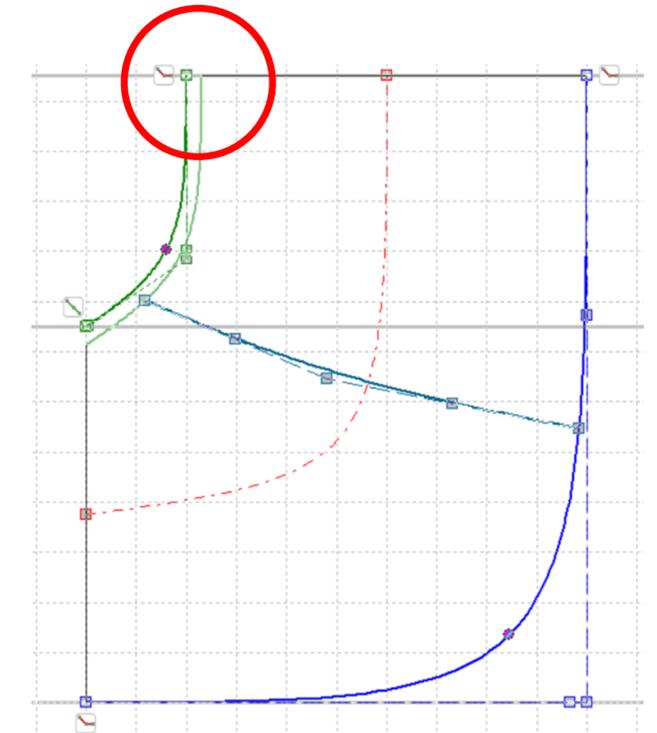
e) Angolo dell'Outlet Meridiano



f) Tip Clearance all'Inlet



g) Tip Clearance all'Outlet



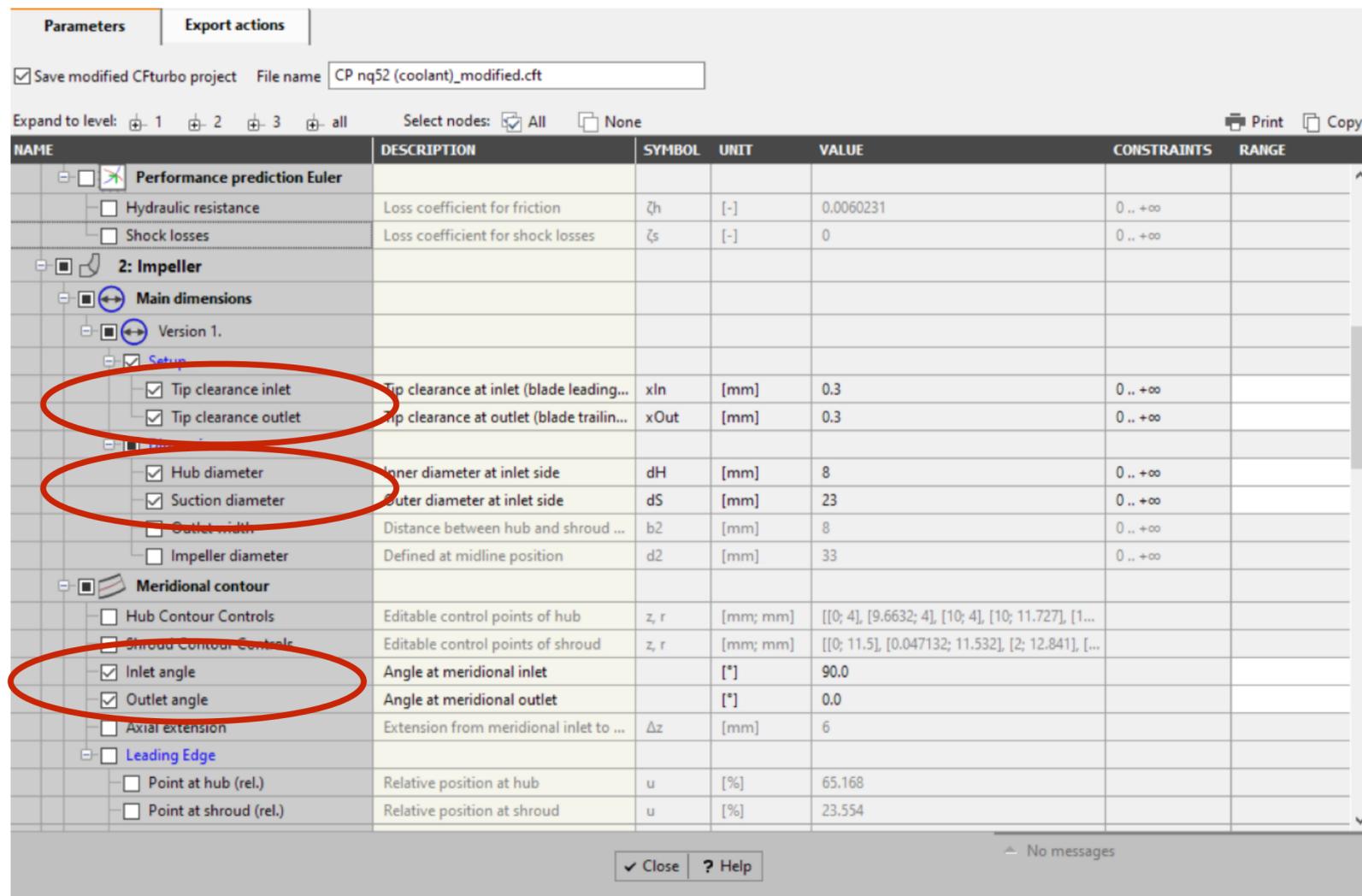
## Step 2: Parametri sui quali intervenire

I valori base dei parametri descritti vengono di seguito riassunti, insieme al range di variabilità utilizzato nella fase di ottimizzazione:

Parametro	Valore partenza	Range	Percentuale variabilità
Diametro hub	8 [mm]	7.5 [mm] – 10 [mm]	6.25% – 25.00%
Diametro Suction	23 [mm]	20 [mm] – 25 [mm]	13.00% – 8.70%
Altezza outlet	8 [mm]	5 [mm] – 10 [mm]	37.50% – 25.00%
Angolo all'inlet meridiano	90 [degrees]	90 [degrees] – 92 [degrees]	0.00% – 2.22%
Angolo all'outlet meridiano	0 [degrees]	0 [degrees] – 10 [degrees]	0.00% – 3%
Tip clearance all'inlet	0.3 [mm]	0.25 [mm] – 0.35 [mm]	16.67% – 16.67%
Tip clearance all'outlet	0.3 [mm]	0.28 [mm] – 0.32 [mm]	6.67% – 6.67%

# Step 2: Parametri sui quali intervenire

Definiti i parametri sui quali si è voluto lavorare, si è utilizzato il file batch di Cfturbo che aggiorna la geometria al variare dei parametri ed esporta i files STL che verranno utilizzati dal codice CFD per la generazione della griglia di calcolo.



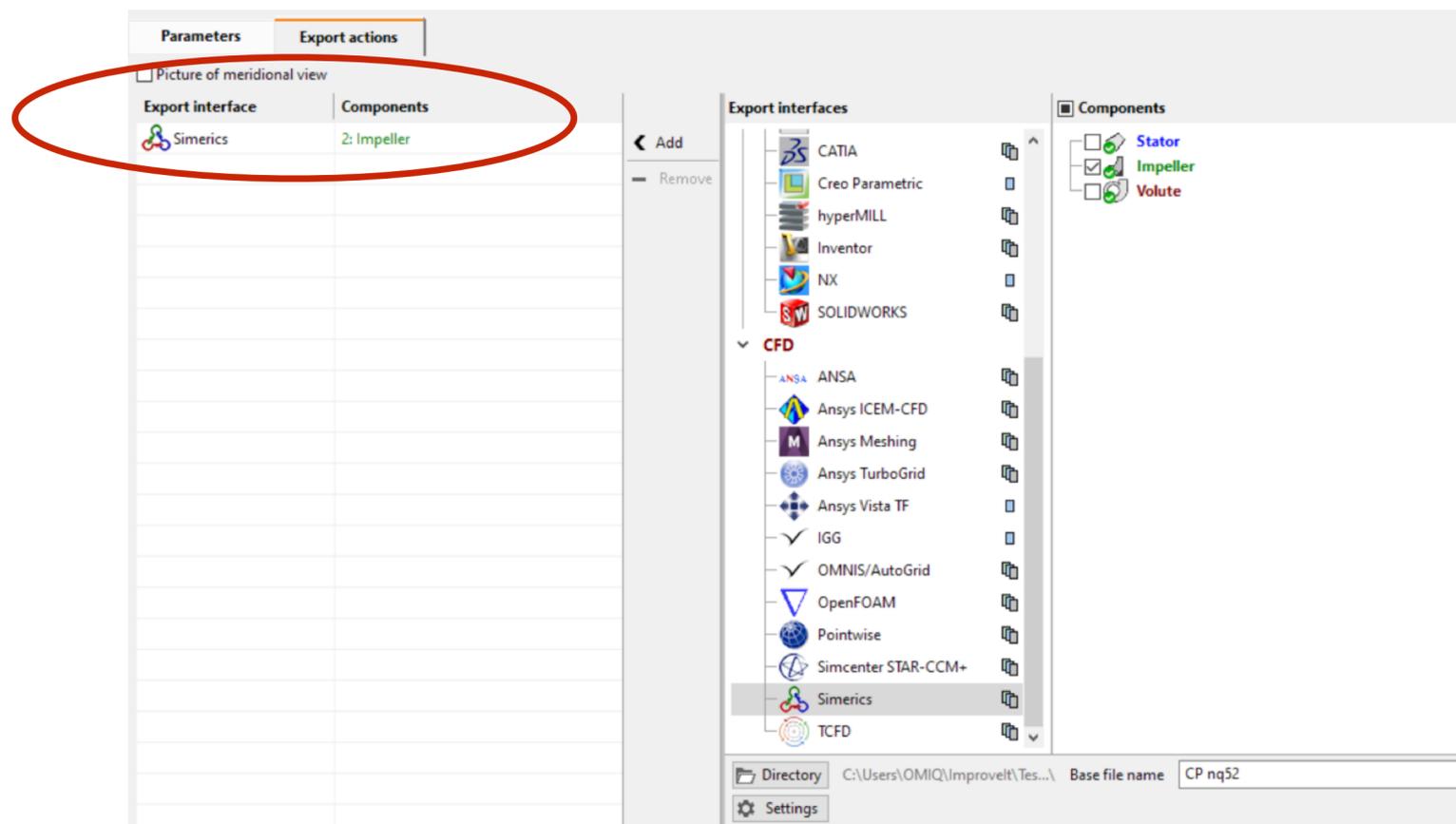
Parameters | Export actions

Save modified Cfturbo project File name CP nq52 (coolant)\_modified.cft

Expand to level: 1 2 3 all Select nodes:  All  None Print Copy

NAME	DESCRIPTION	SYMBOL	UNIT	VALUE	CONSTRAINTS	RANGE
<input type="checkbox"/> Performance prediction Euler						
<input type="checkbox"/> Hydraulic resistance	Loss coefficient for friction	$\zeta_h$	[-]	0.0060231	0 .. +∞	
<input type="checkbox"/> Shock losses	Loss coefficient for shock losses	$\zeta_s$	[-]	0	0 .. +∞	
<input checked="" type="checkbox"/> 2: Impeller						
<input checked="" type="checkbox"/> Main dimensions						
<input checked="" type="checkbox"/> Version 1.						
<input checked="" type="checkbox"/> Setup						
<input checked="" type="checkbox"/> Tip clearance inlet	Tip clearance at inlet (blade leading...	xIn	[mm]	0.3	0 .. +∞	
<input checked="" type="checkbox"/> Tip clearance outlet	Tip clearance at outlet (blade trailin...	xOut	[mm]	0.3	0 .. +∞	
<input checked="" type="checkbox"/> Hub diameter	Inner diameter at inlet side	dH	[mm]	8	0 .. +∞	
<input checked="" type="checkbox"/> Suction diameter	Outer diameter at inlet side	dS	[mm]	23	0 .. +∞	
<input type="checkbox"/> Outlet width	Distance between hub and shroud ...	b2	[mm]	8	0 .. +∞	
<input type="checkbox"/> Impeller diameter	Defined at midline position	d2	[mm]	33	0 .. +∞	
<input checked="" type="checkbox"/> Meridional contour						
<input type="checkbox"/> Hub Contour Controls	Editable control points of hub	z, r	[mm; mm]	[[0; 4], [9.6632; 4], [10; 4], [10; 11.727], [1...		
<input type="checkbox"/> Shroud Contour Controls	Editable control points of shroud	z, r	[mm; mm]	[[0; 11.5], [0.047132; 11.532], [2; 12.841], [...		
<input checked="" type="checkbox"/> Inlet angle	Angle at meridional inlet		[°]	90.0		
<input checked="" type="checkbox"/> Outlet angle	Angle at meridional outlet		[°]	0.0		
<input type="checkbox"/> Axial extension	Extension from meridional inlet to ...	$\Delta z$	[mm]	6		
<input type="checkbox"/> Leading Edge						
<input type="checkbox"/> Point at hub (rel.)	Relative position at hub	u	[%]	65.168		
<input type="checkbox"/> Point at shroud (rel.)	Relative position at shroud	u	[%]	23.554		

Close ? Help No messages



Parameters | Export actions

Picture of meridional view

Export interface	Components
Simerics	2: Impeller

Export interfaces

- CATIA
- Creo Parametric
- hyperMILL
- Inventor
- NX
- SOLIDWORKS
- CFD
  - ANSA
  - Ansys ICEM-CFD
  - Ansys Meshing
  - Ansys TurboGrid
  - Ansys Vista TF
  - IGG
  - OMNIS/AutoGrid
  - OpenFOAM
  - Pointwise
  - Simcenter STAR-CCM+
  - Simerics
  - TCFD

Components

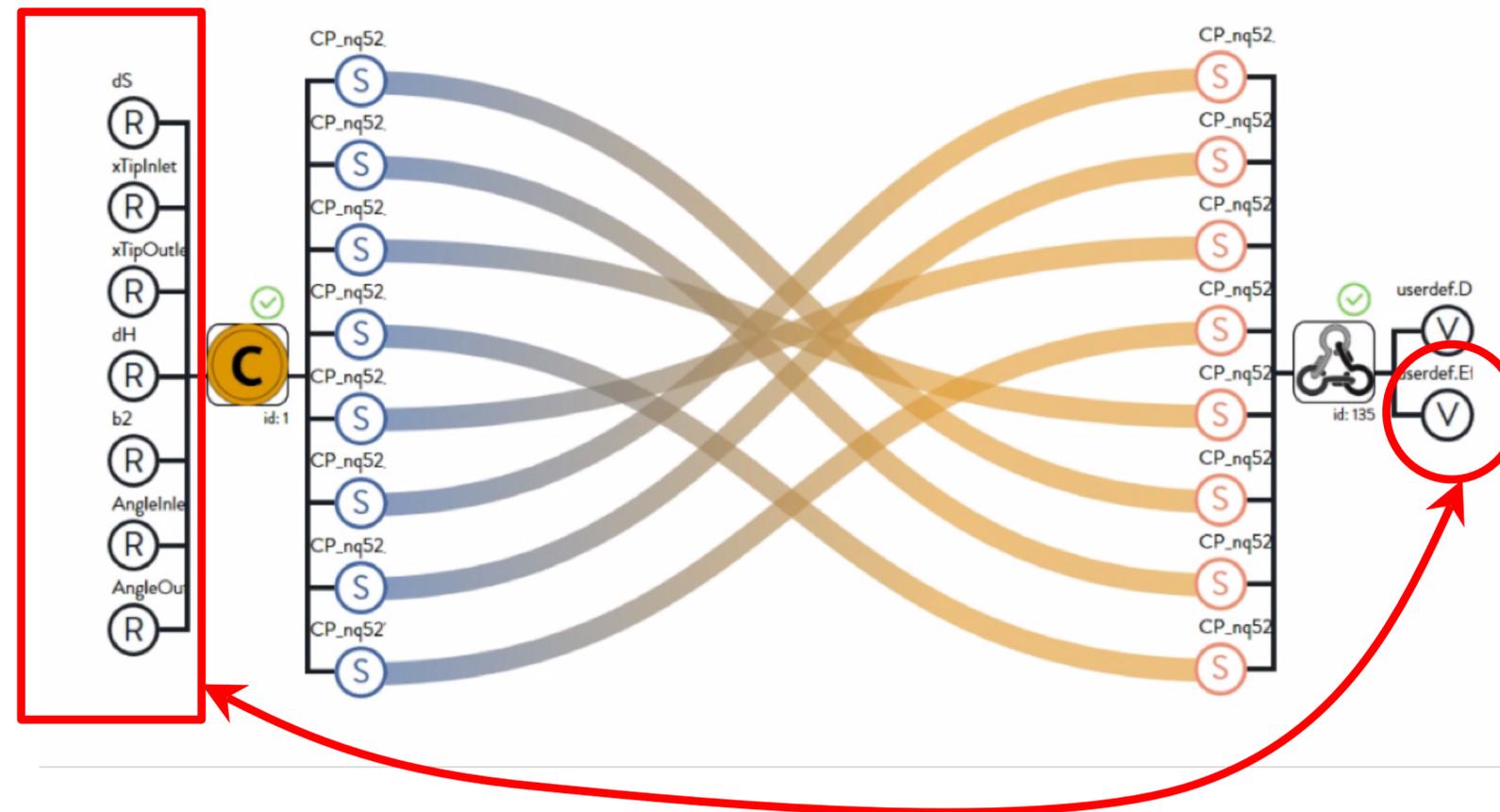
- Stator
- Impeller
- Volute

Directory C:\Users\OMIQ\Improvelt\Tes... Base file name CP nq52

Settings

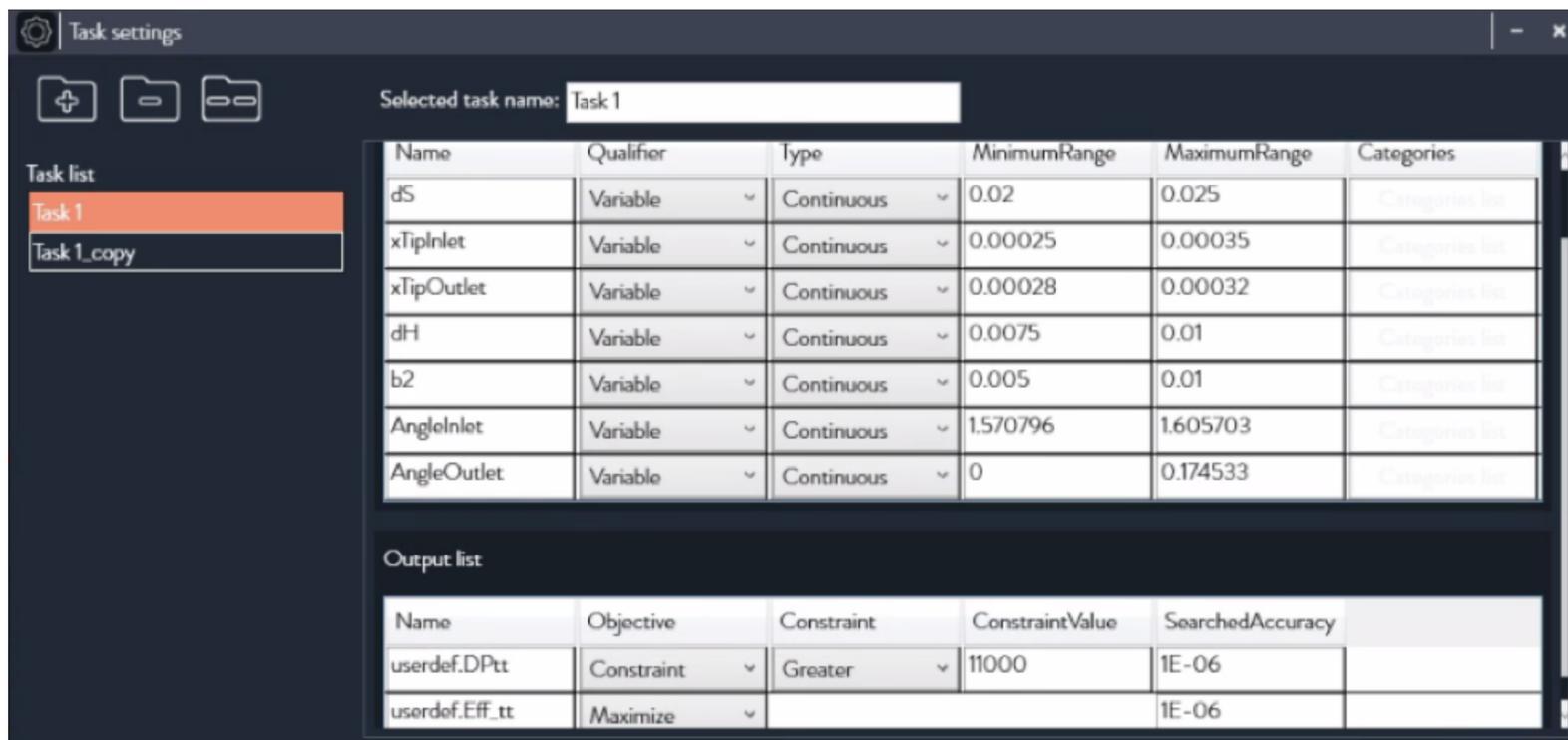
# Step 3: Impostazione IMPROVEit

- I parametri così definiti all'interno di CFturbo, sono stati utilizzati per impostare l'ottimizzatore: ImproveIT
- Come si vede dallo schema sottostante, l'ottimizzatore ha un primo ruolo che è quello di fare da «connettore» tra i vari software, ossia deve collegare CFturbo e SimericsMP+.
- ImproveIT ha un secondo compito, più importante, che è quello di utilizzare i dati provenienti dai due software per scegliere la soluzione ottimale tra i parametri modificabili e l'obiettivo cercato.



# Step 3: IMPROVEit task

- Un aspetto importante di ImprovEit è la definizione del «TASK» ossia «l'obiettivo» della ottimizzazione e dei vincoli dell'ottimizzazione stessa, cioè delle grandezze che devono essere fisse o all'interno di un determinato range.
- Nel caso in esame il TASK, prevede che modificando i parametri geometrici definiti in CFturbo, si ricavi dai dati simulati con SimericsMP+, la migliore possibile efficienza della pompa, con un vincolo sull'alzata. L'alzata della pompa non deve essere inferiore a 11000 Pa (DPtt)



Name	Qualifier	Type	MinimumRange	MaximumRange	Categories
dS	Variable	Continuous	0.02	0.025	Categories list
xTipInlet	Variable	Continuous	0.00025	0.00035	Categories list
xTipOutlet	Variable	Continuous	0.00028	0.00032	Categories list
dH	Variable	Continuous	0.0075	0.01	Categories list
b2	Variable	Continuous	0.005	0.01	Categories list
AngleInlet	Variable	Continuous	1.570796	1.605703	Categories list
AngleOutlet	Variable	Continuous	0	0.174533	Categories list

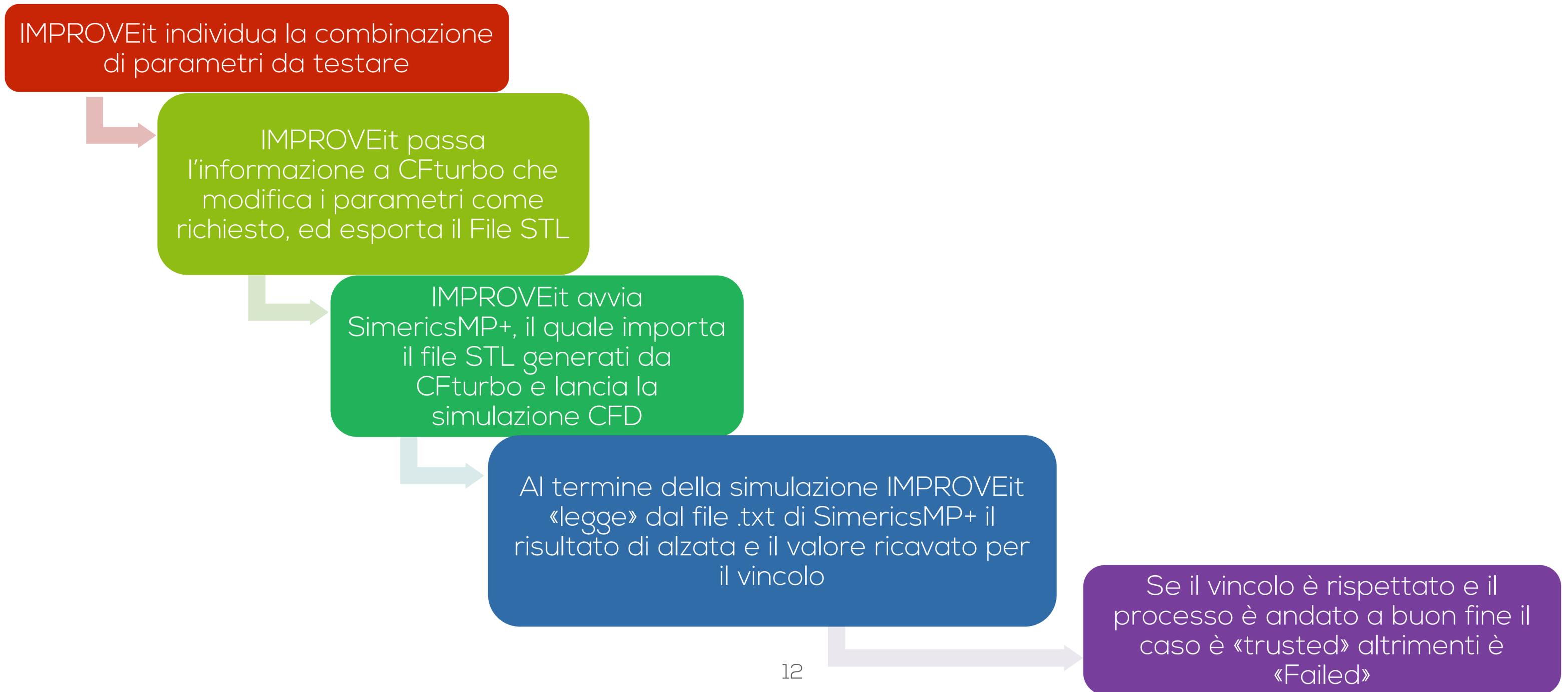
  

Name	Objective	Constraint	ConstraintValue	SearchedAccuracy
userdef.DPtt	Constraint	Greater	11000	1E-06
usordof.Eff_tt	Maximize			1E-06

- Definito il Task, il compito di ImprovEit è quello di individuare un «budget» di casi da svolgere, tra i quali si collochi «l'ottimo» ricercato.

# Step 3: IMPROVEit Budget

- Nel caso in esame il budget per IMPROVEit era di 80 casi, che sono stati quindi processati secondo il seguente schema:



# Step 3: IMPROVEit Population

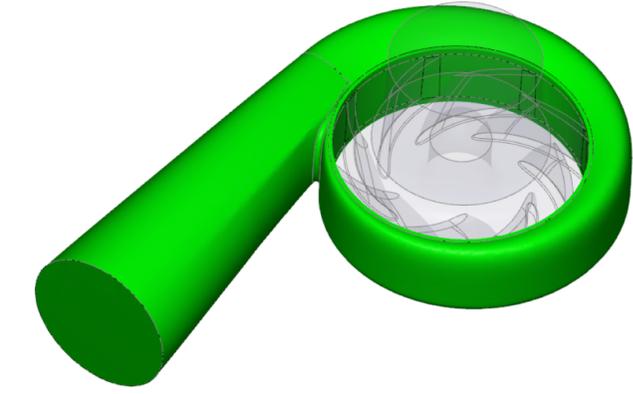
#	dS	xTipInlet	xTipOutlet	dH	b2	AngleInlet	AngleOutlet	userdef.DPtt	userdef.Eff_tt	Status	Source	StartDate
1	2.2500E-02	3.2667E-04	2.9733E-04	7.7500E-03	8.1667E-03	1.5743E+00	1.7453E-02	1.1936E+04	5.3935E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 10:57:26
2	2.0167E-02	2.8000E-04	2.8667E-04	8.0833E-03	6.1667E-03	1.5906E+00	4.0724E-02	1.0323E+04	5.3941E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:00:12
3	2.0500E-02	2.6667E-04	3.0533E-04	8.9167E-03	9.5000E-03	1.5766E+00	1.4544E-01	NaN	NaN	Failed	Task 1-1	18/01/21 11:02:28
4	2.3833E-02	2.8667E-04	3.0267E-04	8.7500E-03	5.1667E-03	1.5720E+00	7.5631E-02	8.7194E+03	4.8829E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:02:36
5	2.4833E-02	2.6000E-04	2.9200E-04	8.5833E-03	7.5000E-03	1.5999E+00	2.9089E-02	1.0662E+04	5.1105E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:04:56
6	2.3500E-02	3.4667E-04	2.8933E-04	9.0833E-03	5.5000E-03	1.5929E+00	1.3381E-01	9.0357E+03	4.9378E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:07:24
7	2.2167E-02	2.7333E-04	3.1333E-04	9.4167E-03	5.8333E-03	1.6022E+00	1.2217E-01	9.5905E+03	5.1252E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:09:44
8	2.1500E-02	3.2000E-04	3.0800E-04	9.7500E-03	6.5000E-03	1.5836E+00	5.8178E-03	1.0278E+04	5.2204E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:12:06
9	2.4500E-02	3.0000E-04	3.1600E-04	9.5833E-03	8.8333E-03	1.5813E+00	5.2360E-02	1.1536E+04	5.1372E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:14:15
10	2.1833E-02	3.0667E-04	2.8133E-04	8.4167E-03	6.8333E-03	1.5789E+00	1.6872E-01	1.0262E+04	4.8567E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:17:20
11	2.1167E-02	2.9333E-04	3.1867E-04	7.5833E-03	7.1667E-03	1.5952E+00	9.8902E-02	1.1111E+04	5.3965E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:19:42
12	2.3167E-02	2.5333E-04	2.8400E-04	9.2500E-03	9.1667E-03	1.5859E+00	1.1054E-01	1.1796E+04	4.9707E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:22:10
13	2.4167E-02	3.3333E-04	3.1067E-04	7.9167E-03	7.8333E-03	1.5882E+00	1.5708E-01	1.0227E+04	4.5741E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:27:38
14	2.0833E-02	3.4000E-04	2.9467E-04	9.9167E-03	8.5000E-03	1.5976E+00	8.7267E-02	1.2109E+04	5.4085E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:30:03
15	2.2833E-02	3.1333E-04	3.0000E-04	8.2500E-03	9.8333E-03	1.6045E+00	6.3995E-02	1.2576E+04	5.2141E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:32:49
16	2.0000E-02	2.5000E-04	3.2000E-04	7.5000E-03	5.0000E-03	1.5708E+00	0.0000E+00	8.9183E+03	5.2024E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:35:47
17	2.0000E-02	3.5000E-04	2.8000E-04	1.0000E-02	1.0000E-02	1.6057E+00	0.0000E+00	1.3022E+04	5.3835E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:37:55
18	2.5000E-02	2.5000E-04	3.2000E-04	7.5000E-03	5.0000E-03	1.5708E+00	0.0000E+00	8.4291E+03	4.7674E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:40:47
19	2.0000E-02	3.5000E-04	2.8000E-04	1.0000E-02	1.0000E-02	1.6057E+00	1.7453E-01	1.1061E+04	4.4202E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:43:03
20	2.1972E-02	3.4220E-04	3.1969E-04	9.8621E-03	6.6618E-03	1.5716E+00	1.7131E-01	9.6576E+03	4.6847E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:45:22
21	2.0000E-02	2.7529E-04	3.2000E-04	7.5000E-03	9.8811E-03	1.6032E+00	0.0000E+00	1.3214E+04	5.4867E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:47:41
22	2.5000E-02	3.5000E-04	2.8000E-04	1.0000E-02	1.0000E-02	1.5708E+00	0.0000E+00	1.1951E+04	5.0714E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:50:27
23	2.0000E-02	3.0997E-04	3.2000E-04	7.5000E-03	6.8495E-03	1.6057E+00	0.0000E+00	1.0899E+04	5.4189E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:53:11
24	2.5000E-02	2.5000E-04	2.8000E-04	1.0000E-02	1.0000E-02	1.5708E+00	0.0000E+00	1.2020E+04	5.0730E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:55:18
25	2.0115E-02	2.7779E-04	3.1840E-04	7.6000E-03	9.6811E-03	1.6018E+00	0.0000E+00	1.3058E+04	5.4657E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 11:58:09
26	2.0000E-02	2.7129E-04	3.2000E-04	7.5000E-03	1.0000E-02	1.6004E+00	6.9813E-03	1.3225E+04	5.4499E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 12:01:01
27	2.0000E-02	2.8179E-04	3.2000E-04	7.5000E-03	9.4811E-03	1.6046E+00	0.0000E+00	1.3000E+04	5.4885E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 12:06:31
28	2.0000E-02	2.7779E-04	3.2000E-04	7.5000E-03	9.6811E-03	1.6057E+00	0.0000E+00	1.3057E+04	5.4603E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 12:09:28
29	2.0000E-02	2.8579E-04	3.2000E-04	7.5000E-03	9.8811E-03	1.6032E+00	0.0000E+00	1.3206E+04	5.4862E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 12:12:18
30	2.0000E-02	2.8579E-04	3.2000E-04	7.5000E-03	9.2811E-03	1.6032E+00	0.0000E+00	1.2938E+04	5.5235E-01	Trusted	Task 1-1	18/01/21 12:15:05

Tabella riassuntiva di alcune simulazioni svolte

# Step 4: SimericsMP+

- Prima di analizzare i risultati ottenuti da ImproveIt è opportuno descrivere la simulazione fluidodinamica svolta con SimericsMP+, che ci permette di testare virtualmente le prestazioni della pompa, e ottenere quindi i risultati sulle geometrie decise da IMPROVEIt e generate da Cfturbo per poi lasciare ad IMPROVEIt la determinazione della «condizione ottimale».
- Il modello della pompa studiato con SimericsMP+ è composto dal volume fluido dei seguenti componenti:

1. Statore
2. Girante
3. Voluta



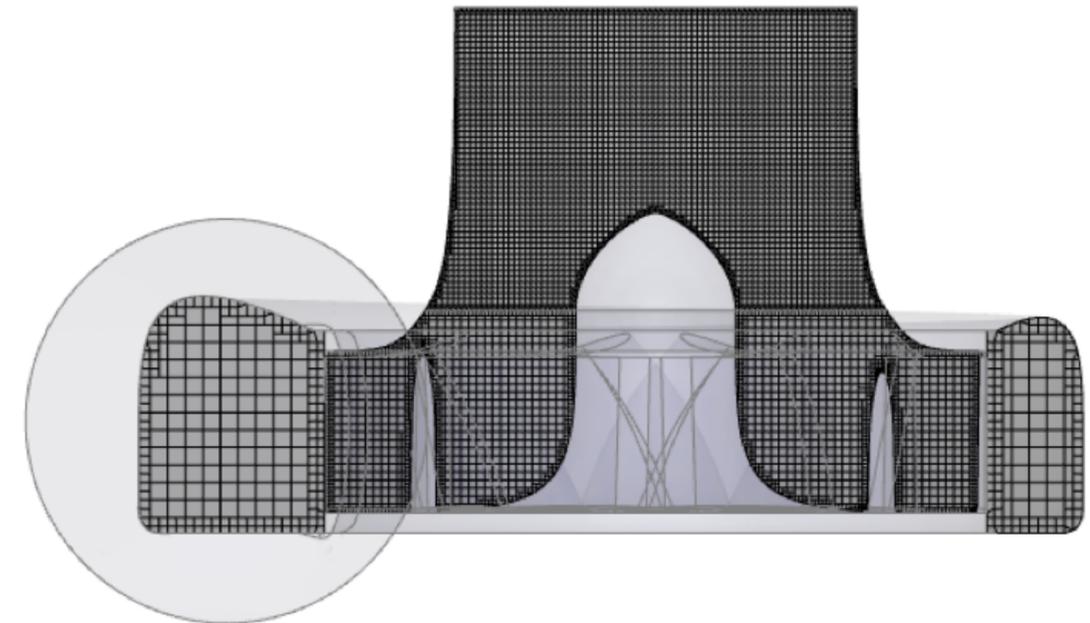
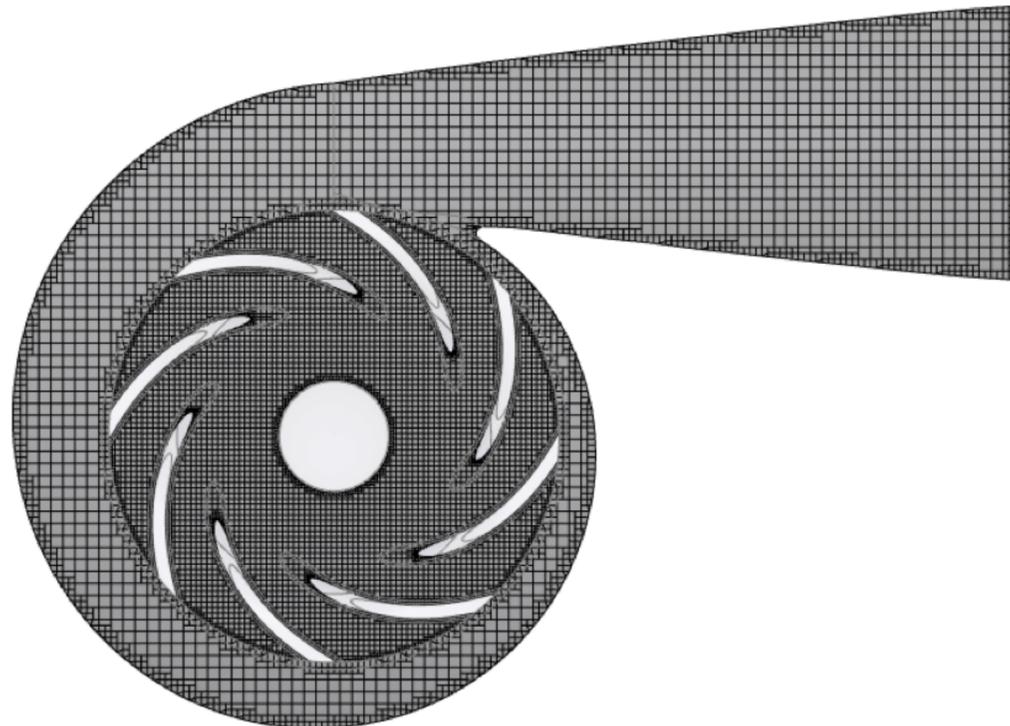
- Ai fini dell'ottimizzazione, i componenti 1 e 3 non verranno toccati, in modo che la griglia di calcolo di questi componenti resti sempre la stessa nelle simulazioni svolte.
- La geometria della girante, invece verrà modificata di volta in volta, tramite l'importazione di un nuovo file STL,

# Step 4: SimericsMP+

- La griglia di calcolo della pompa è costituita da un totale di 765327 celle, così distribuite:

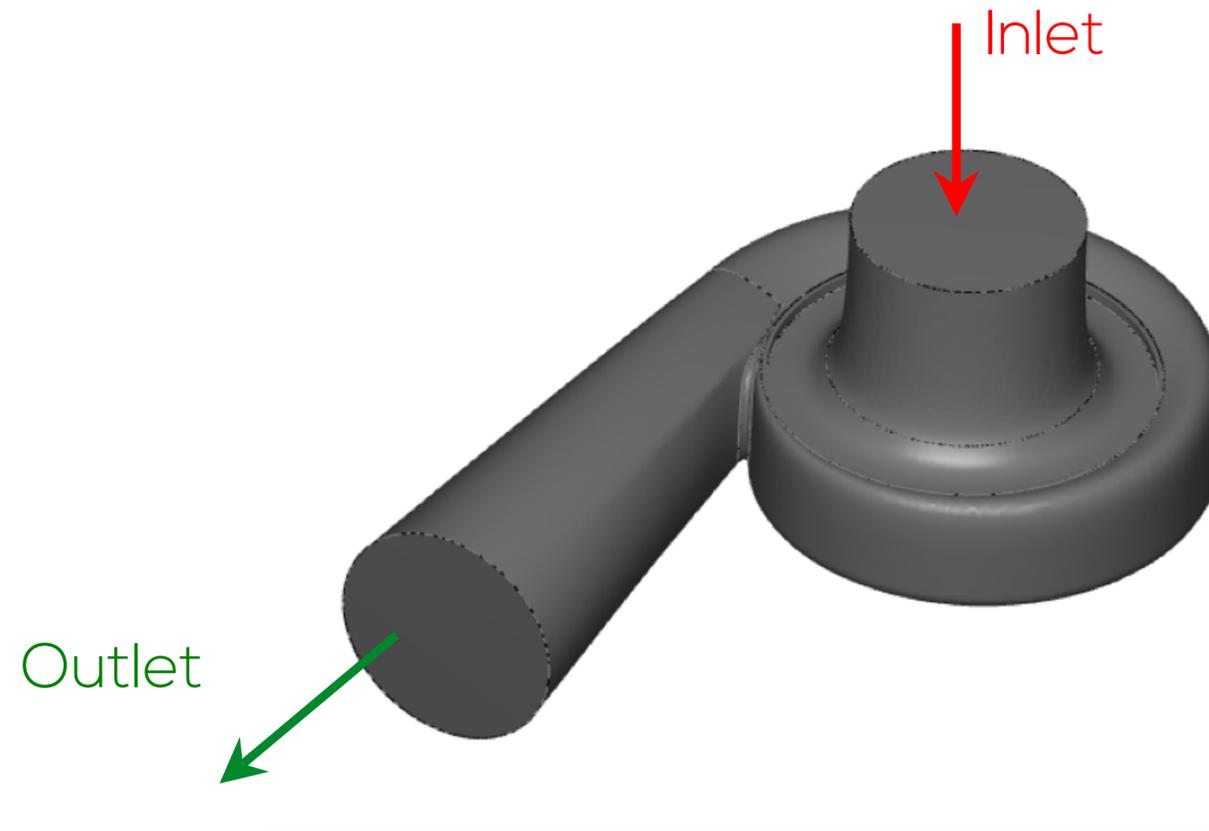
Statore	Girante	Voluta	Totale
84608	317693	363026	765327

- La griglia di calcolo della girante viene rigenerata ad ogni step di ottimizzazione e le dimensioni della mesh in tutti i test fatti variano tra il + 10% ed il -10% rispetto alla griglia del caso base.



# Step 4: Condizioni al Contorno SimericsMP+

- Le condizioni al contorno vengono applicate alle superfici di ingresso ed uscita e corrispondono a quanto indicato in tabella.

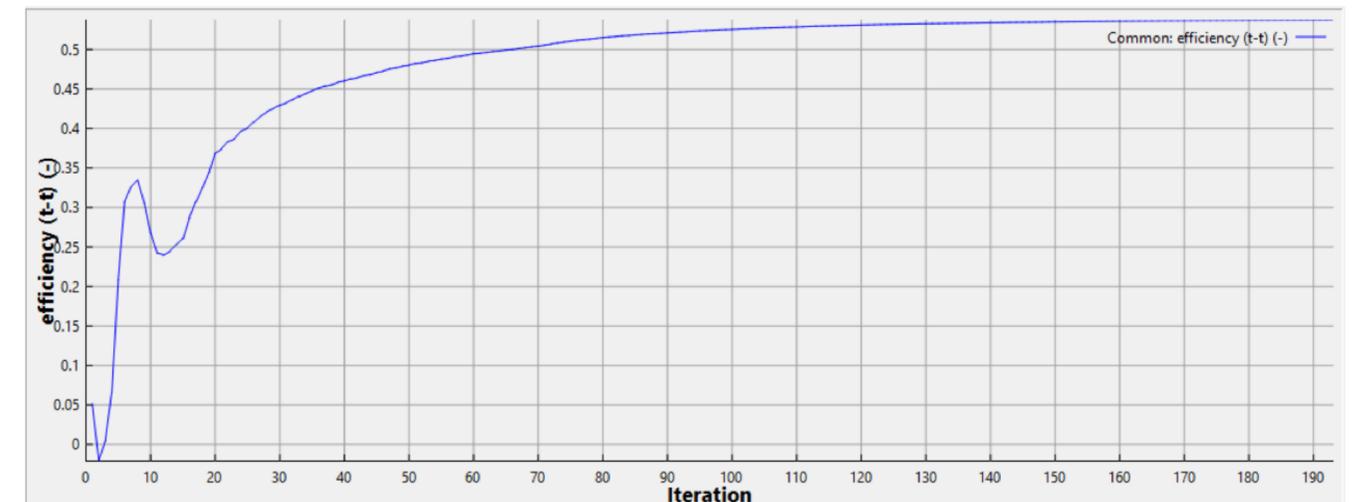
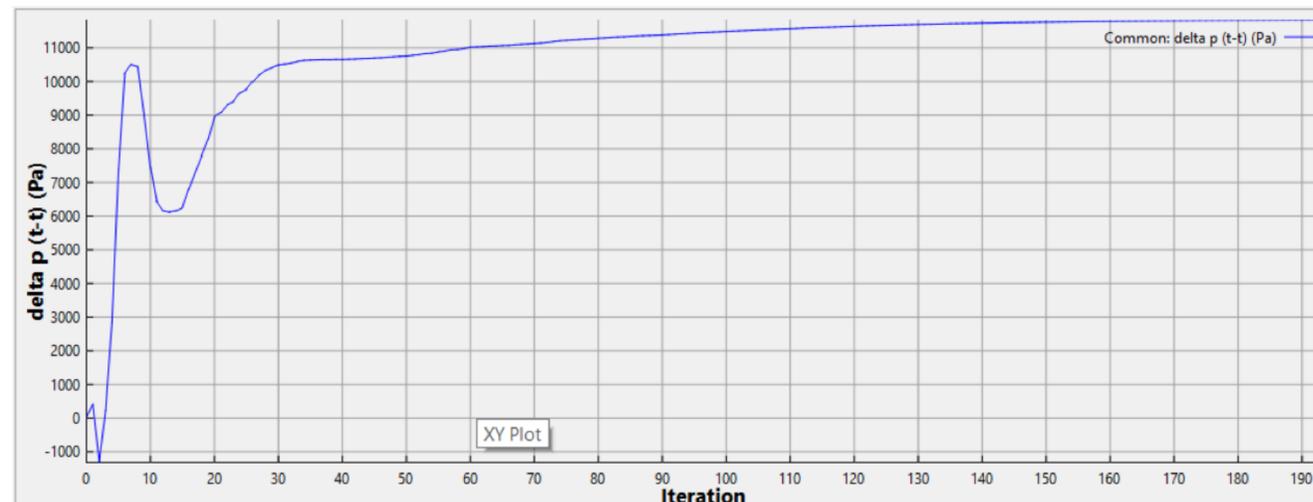


Inlet Total pressure	Outlet Volumetric Flux
100000 [Pa]	1 [m <sup>3</sup> /h]

- La velocità di rotazione è pari a 3000rpm e il fluido utilizzato è glicole, considerato come fluido comprimibile. Le analisi sono state svolte in regime stazionario (Multiple Frames fo Reference)
- Queste impostazioni non cambiano per tutte le analisi svolte.

# Step 4: SimericsMP+ Risultati

- Terminata l'analisi CFD, IMPROVEit legge da un file di testo di SimericsMP+ i dati calcolati, che vengono valutati ai fini dell'ottimizzazione ed in particolare:
  - Vincolo  $D_{ptt}$ : differenza di pressione totale tra ingresso e uscita della pompa. Questa non deve essere inferiore a 11000 [Pa]
  - Obiettivo  $E_{fft}$ : efficienza ossia rapporto tra la potenza fornita ( $Portata \cdot DP$ ) e la potenza assorbita ( $Coppia \cdot \text{velocità angolare}$ ). L'obiettivo è avere l'efficienza più alta possibile.
  - Tutti i valori delle variabili necessarie per il calcolo del vincolo e dell'obiettivo sono valori di output che si ricavano direttamente da SimericsMP+.



# Step 5: Risultati Ottimizzazione

- Per la determinazione della soluzione più performante IMPROVEit implementa al proprio interno diversi schemi di ottimizzazione numerica che vengono scelti dal software stesso a seconda delle caratteristiche del problema e della sua evoluzione.
- In questo modo si solleva l'utente dal dover manualmente scegliere (e conoscere) le diverse tecniche di intelligenza artificiale.
- Inoltre, la scelta viene ponderata anche sulla base del tempo (budget) di cui l'utente dispone per risolvere il problema.
  - Un budget ristretto instruirà l'ottimizzatore ad utilizzare una tecnica di ricerca veloce, ma meno performante; un budget più ampio consentirà al software di raccogliere più informazioni possibili prima di iniziare a cercare la soluzione ottimale.

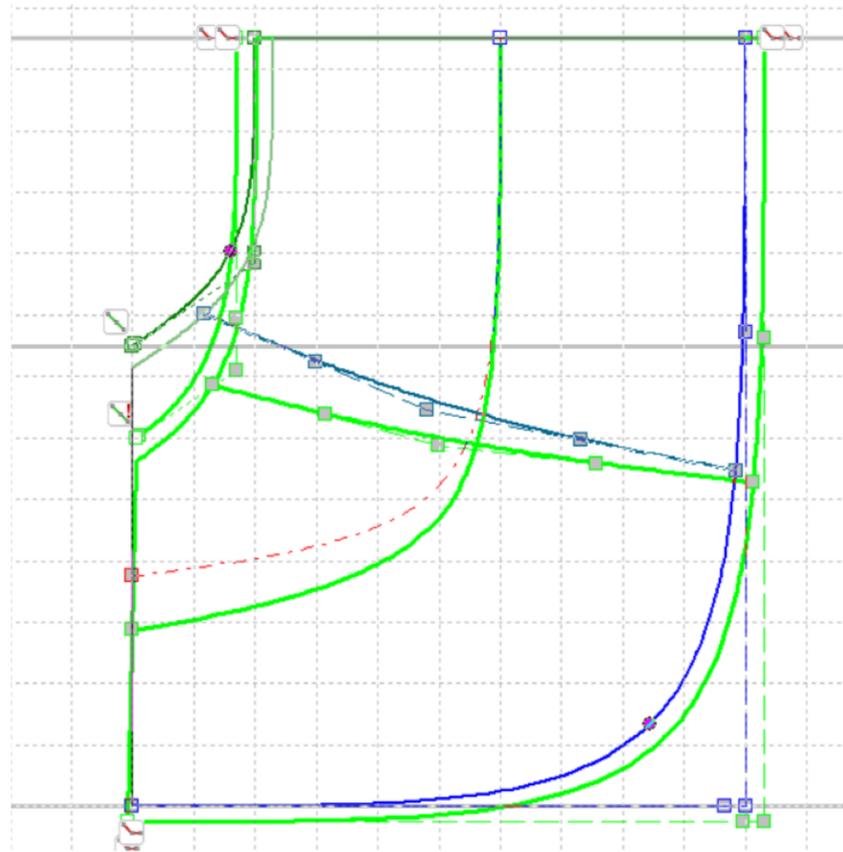


# Step 5: Risultati Ottimizzazione

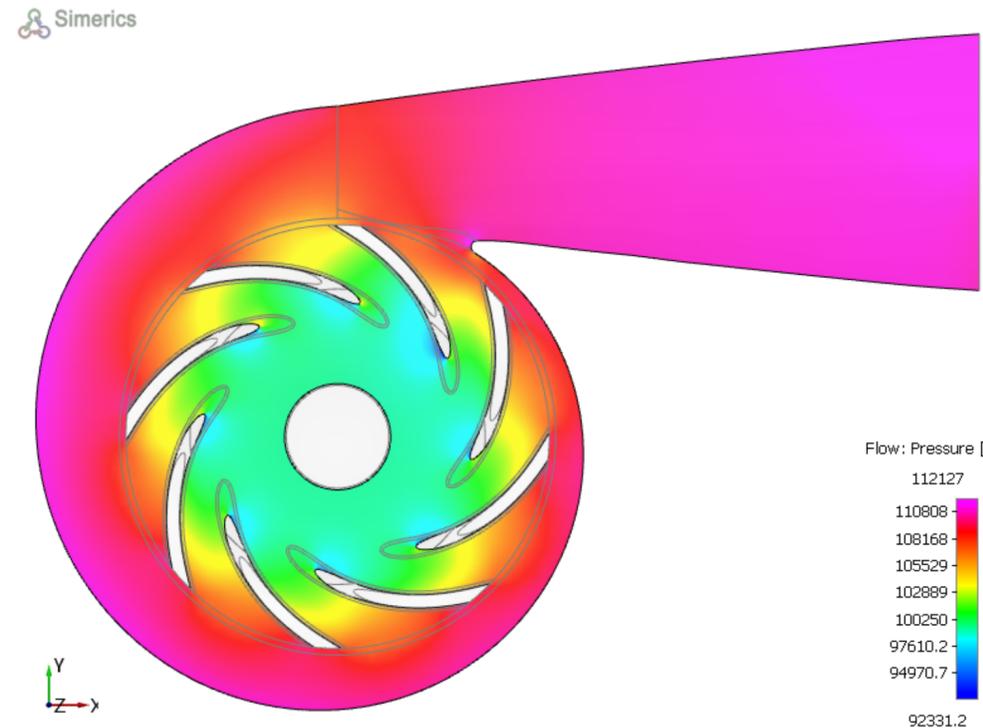
- Come precedentemente descritto, l'ottimizzazione CFturbo -> SimericsMP+ -> IMPROVEit è stata sviluppata sulla base di un budget di 80 combinazioni dei parametri.
- Di queste 80 combinazioni solo una è fallita.
- E' stata individuata una soluzione «Ottima» con la combinazione di parametri e i valori di efficienza e alzata indicati nella tabella sottostante, in rosso. Tali valori sono messi a confronto con i dati della configurazione di partenza (in blu).
- Si nota quindi un aumento di efficienza di più di 3 punti percentuali, con un'alzata che aumenta dell'6.6% e una potenza richiesta che aumenta solo del 2.3%.
- Si può quindi dire che in generale si sono migliorate le prestazioni della pompa, senza che fosse necessario modificare l'architettura della pompa stessa.

Diametro Suction	Tip clearance outlet	Tip clearance outlet	Diametro hub	Altezza Outlet	Angolo merid. inlet	Angolo merid. outlet	DPtotale	Efficienza
23 [mm]	0.3 [mm]	0.3 [mm]	8 [mm]	8 [mm]	90 [degrees]	0 [degrees]	11817 [Pa]	52.82%
20 [mm]	0.303 [mm]	0.32 [mm]	7.5 [mm]	8.599 [mm]	91.28 [degrees]	0 [degrees]	12599.4 [Pa]	56.17%

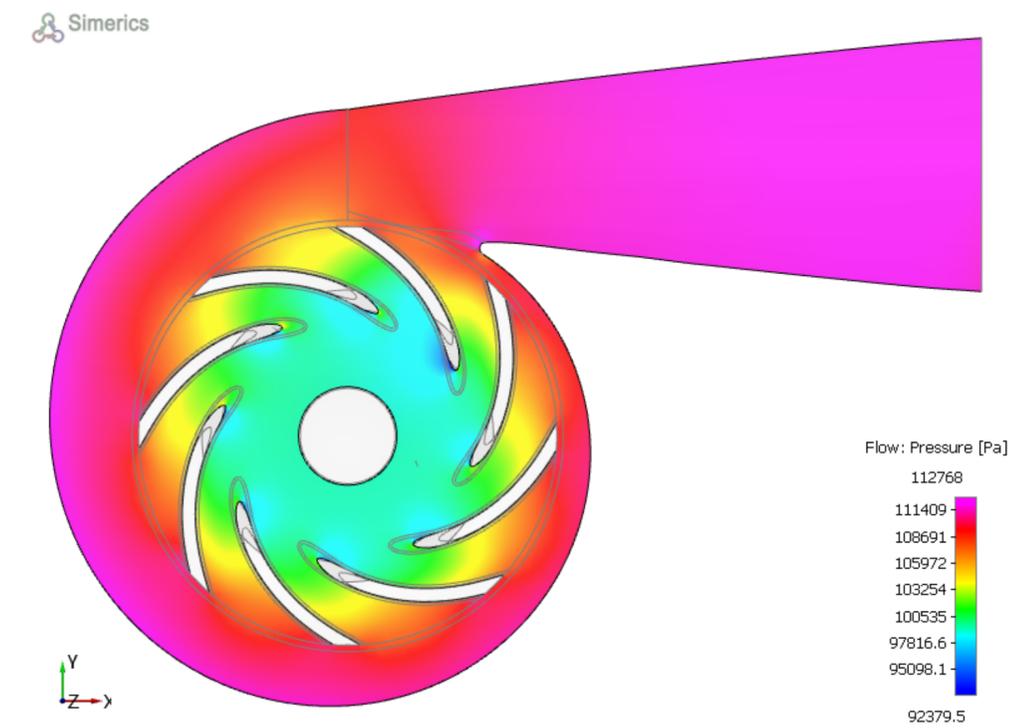
# Step 5: Risultati Ottimizzazione



In verde geometria ottimizzata



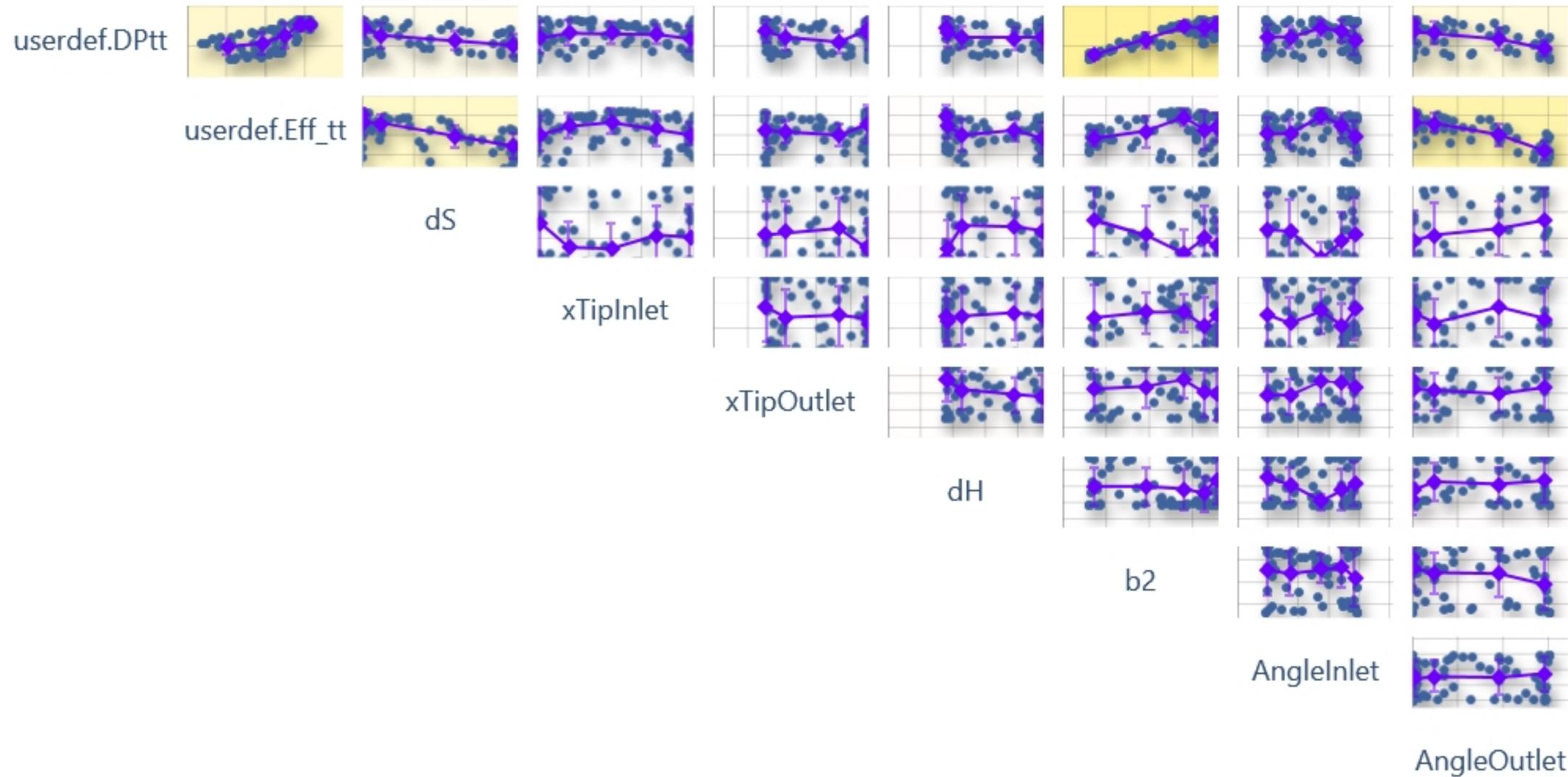
Configurazione base



Configurazione ottimizzata

# Step 5: Risultati Ottimizzazione

Al di là della configurazione ottimale individuata tramite il processo di ottimizzazione, si possono ricavare importanti informazioni sull'incidenza dei parametri scelti rispetto al miglioramento di prestazione della pompa.



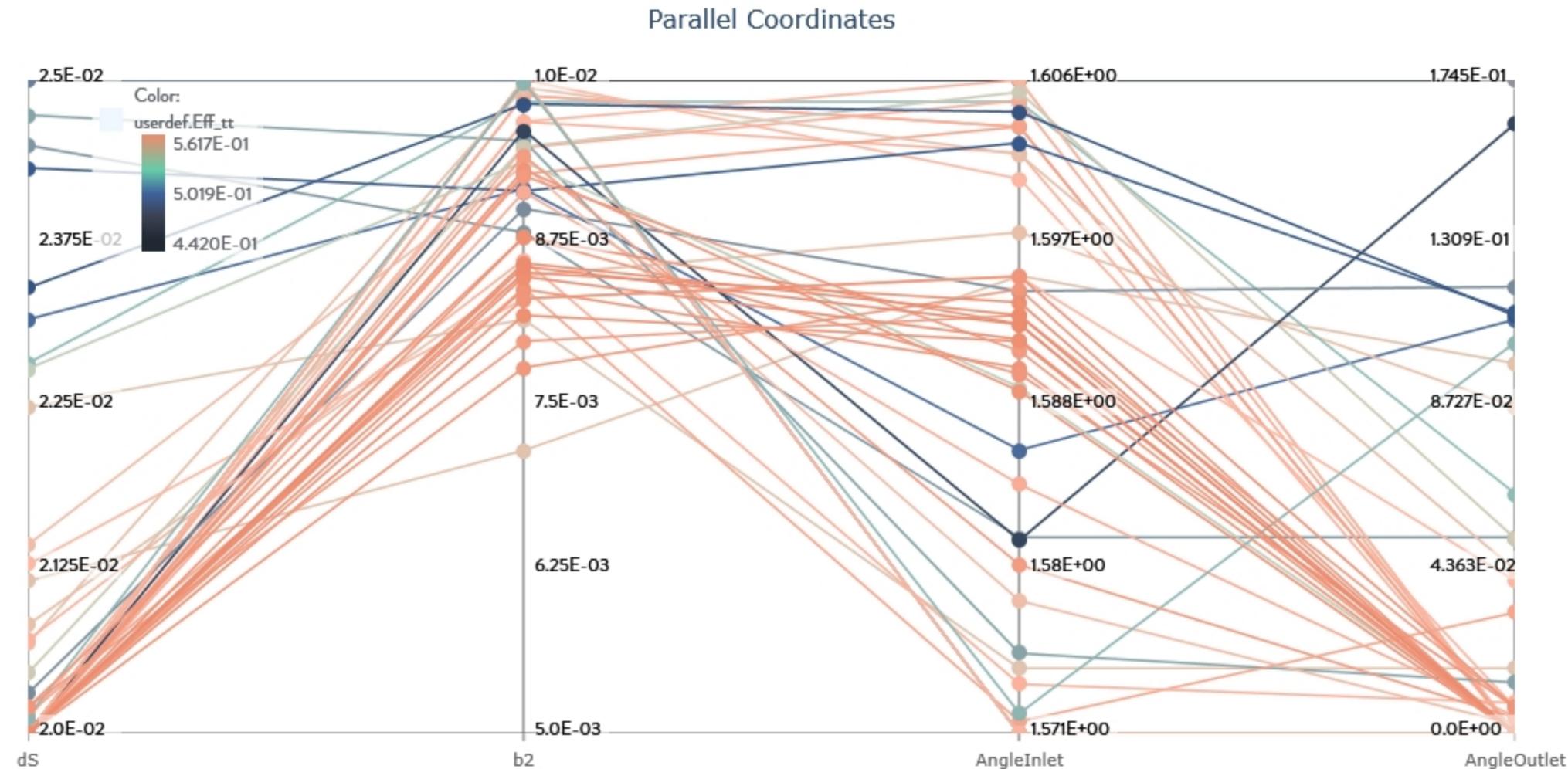
L'analisi di sensitività sui parametri studiati, mostra come l'alzata sia influenzata dall'altezza della girante in outlet (alzata cresce all'aumentare dello spessore) e dall'angolo meridiano in outlet, con un andamento inversamente proporzionale.

L'efficienza è a sua volta sensibile al diametro di suction (diminuisce all'aumentare del dS) ed è fortemente influenzata anche dall'angolo meridiano in outlet: l'efficienza diminuisce al diminuire dell'angolo di outlet.

Mentre i risultati legati alle variazioni geometriche dei diametri possono essere più intuitive, la variazione legata all'inclinazione dell'outlet è sicuramente un aspetto da indagare anche al diminuire dell'angolo di outlet.

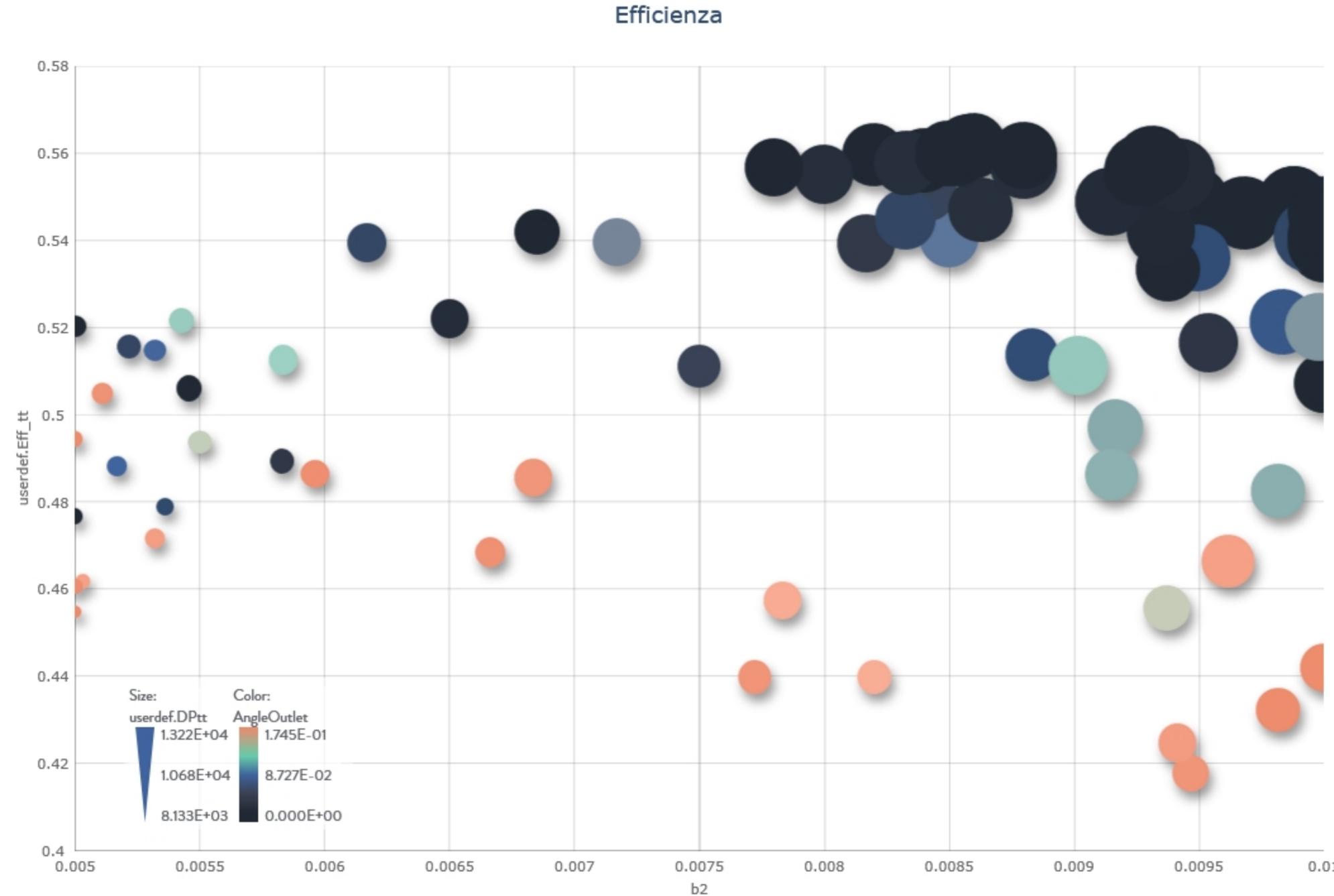
# Step 5: Risultati Ottimizzazione

- Il grafico qui a fianco è anch'esso indicativo di come i parametri utilizzati influenzino l'efficienza della pompa. Si osserva che le linee rosse relative all'efficienza maggiore si concentrano sui valori più bassi per il diametro di suction, su valori superiori a 7.5mm per la altezza b2, su un valore «intermedio» per l'angolo di inlet (91°) e verso lo zero per l'angolo di outlet.
- Sono stati valutati i parametri più importanti per semplificare la visualizzazione del grafico stesso. In particolare il valore di Tip Clearance e il diametro di Hub non sono risultati significativi ai fini del miglioramento delle prestazioni.



# Step 5: Risultati Ottimizzazione

- Questo grafico, a bolle, riassume vari parametri coinvolti nel processo di ottimizzazione della girante.
- In ascissa abbiamo l'altezza in outlet,  $b_2$ , e in ordinata abbiamo i valori di efficienza. La dimensione delle bolle rappresenta l'alzata della pompa, quindi bolle grandi indicano una alzata più elevata. Il colore delle bolle è invece legato all'angolo di outlet. Bolle blu scuro hanno angolo di outlet nullo.



# Conclusioni

- Abbiamo voluto studiare la variazione di efficienza di una pompa centrifuga al variare di alcune grandezze geometriche, la cui modifica non inficia l'architettura dell'intera pompa.
- Ci siamo in particolare concentrati sulla girante e abbiamo individuato 7 parametri con i quali «giocare».
- Grazie all'utilizzo di una «combinazione» di software: CFturbo, Improvelt e SimericsMP+ siamo riusciti a comprendere l'importanza dei parametri per il miglioramento dell'efficienza (e dell'alzata) della pompa.
- I risultati ci hanno soddisfatto in quanto siamo riusciti a migliorare del 3.6% l'efficienza della pompa a fronte anche di un aumento dell'alzata del 6.6%.
- L'aspetto che troviamo comunque stimolante (ma ancora non esaustivo) è lo studio dell'influenza dei parametri analizzati nel miglioramento delle prestazioni. Per l'alzata è indubbiamente significativa la variazione dello altezza della girante all'outlet, mentre per l'efficienza risulta importante l'angolo di outlet della girante.
- Un prossimo studio, quindi, dovrebbe prendere in esame un più ampio range di variabilità dei parametri risultati significativi, (per esempio prendere in considerazione valori negativi dell'angolo di outlet) e valutare anche diverse grandezze (per esempio la forma dell'hub o la sua estensione assiale) al fine di ottenere un miglioramento ancora più marcato delle prestazioni.