

Insieme, per ottimizzare l'efficienza

UN SISTEMA DI RECUPERO DELL'ENERGIA IN UN CIRCUITO IDRAULICO ATTRAVERSO UNA PICCOLA TURBINA PELTON. È QUESTO IL BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE NATO DALLA COLLABORAZIONE TRA DUE AZIENDE EMILIANE - LA MODENESE SMARTFLUIDPOWER SRL E LA REGGIANA ELT FLUID - CHE, LAVORANDO FIANCO A FIANCO IN QUESTA RICERCA, HANNO SVILUPPATO NUOVE SOLUZIONI NEL SETTORE OLEODINAMICO

Sanzia Milesi



Una manciata di anni fa i primi contatti con l'inizio di una promettente collaborazione e, nell'ottobre 2022, un primo articolo scientifico presentato al PHD Symposium della Global Fluid Power Society. Un proficuo percorso di collaborazione che ha portato, nel 2024, alla registrazione di un brevetto per invenzione industriale. A dare il via al progetto e a finanziarlo, l'azienda reggiana ELT Fluid di Danilo Manfredi e soci che, nel box in una pagina seguente, ci spiega l'importanza di questa ricerca. A raccontarci nei dettagli l'origine e l'evoluzione del progetto è qui invece Marco Rizzoli, attuale vicepresidente e amministratore di SmartFluidPower srl che, laureatosi in Ingegneria Meccanica presso l'Università di Modena e Reggio Emilia, ha partecipato attivamente alla crescita del gruppo sin dai primi anni successivi alla sua fondazione (avvenuta nel 2018 come spin-off dell'Università) divenendone socio nel 2024.

L'idea di partenza

Come nascono i contatti con l'azienda e con quali sviluppi?

«Il nostro primo contatto come SmartFluidPower con l'azienda reggiana ELT Fluid risale al 2019, grazie a uno dei membri interni al nostro gruppo di lavoro che ci ha intro-

dotti all'azienda e a uno dei suoi fondatori, Danilo Manfredi. La collaborazione che ne è seguita tra noi si è sviluppata sulla base di un'idea innovativa che lui ha voluto condividere e porre all'esame del nostro team, con l'obiettivo di validare e ottimizzare il progetto a essa collegato. L'idea nasce dalla necessità di recuperare energia durante l'utilizzo di specifici banchi prova, un'applicazione diffusa in ELT Fluid e caratterizzata da una bassa efficienza nella maggior parte del ciclo operativo.

Sebbene esistano soluzioni che prevedono la sostituzione di componenti, o la modifica del circuito oleodinamico, l'obiettivo era migliorare il sistema esistente senza interventi onerosi sul banco. Escludendo la modifica della generazione di potenza, ELT Fluid ci ha incaricato di valutare e progettare l'inserimento di una turbina Pelton per il recupero dell'energia inutilizzata. In SmartFluidPower ci occupiamo principalmente di simulazione dinamica di componenti e sistemi oleodinamici, e possiamo contare su un team di specialisti provenienti dai settori accademico e industriale. La combinazione di strumenti di simulazione avanzati e competenze tecniche specifiche si è rivelata cruciale per rendere efficiente l'intero processo di progettazione e validazione sperimentale».



Danilo Manfredi,
fondatore
di ELT Fluid



Marco Rizzoli,
socio e amministratore
di smartfluidpower

Chi e come è intervenuto a lavorare sul progetto? Come vi siete coordinati?

«Il progetto ha coinvolto esclusivamente ELT Fluid e noi di SmartFluidPower. ELT Fluid ha definito le fasi operative e fornito i dettagli dell'idea. Dopo una prima analisi di fattibilità, noi abbiamo sviluppato il progetto della turbina e simulato il suo funzionamento su un banco prova virtuale. Successivamente, ELT Fluid ha rea-

lizzato, acquistato e assemblato tutti i componenti, montandoli infine sul proprio banco prova fisico. Le prove sperimentali sono state condotte congiuntamente, confrontando i risultati reali con i modelli virtuali sviluppati in precedenza».

Quali sono stati gli spazi di lavoro e quali le strumentazioni utilizzate?

«La prima fase di progettazione teorica si è svolta presso la sede di SmartFluidPower. Qui, abbiamo integrato formulazioni semi-empiriche relative alla turbina Pelton in un'interfaccia Excel, che consentiva modifiche rapide dei parametri e una visualizzazione immediata dei risultati. Per i dettagli della progettazione, abbiamo utilizzato il software ANSYS Discovery per le simulazioni fluidodinamiche (CFD) e strutturali (FEM). Infine, abbiamo modellato virtualmente il sistema completo di test con OpenModelica e la nostra libreria, simulandone il comportamento con attenzione particolare ai transienti del ciclo operativo. Come accennavo prima, infine ELT Fluid ha assemblato la turbina internamente e ha condotto i test sperimentali presso il proprio stabilimento, utilizzando un banco prova dedicato e strumentazione per l'acquisizione delle grandezze fisiche».

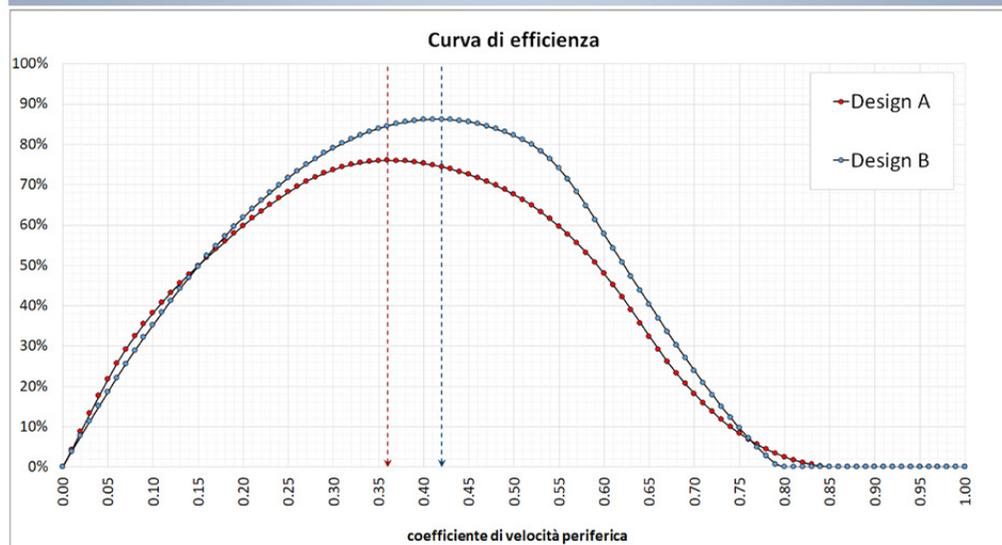
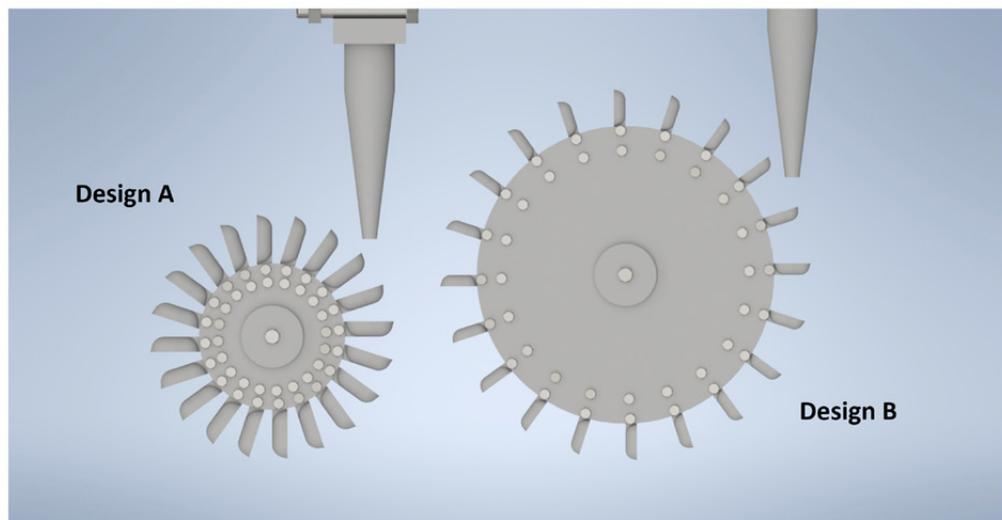
L'utilizzo della turbina Pelton

Perché una turbina Pelton invece di altre soluzioni che potremmo definire più comuni?

«L'idea di utilizzare una turbina Pelton per il recupero di energia proviene dal fondatore di ELT Fluid, Danilo Manfredi. Durante l'utilizzo intensivo di uno dei banchi prova, caratterizzato da un ciclo di lavoro discontinuo e una configurazione atipica, emergeva un significativo spreco di energia attraverso la valvola limitatrice di pressione. Questo è un caso che accade

frequentemente nel mondo oleodinamico, cioè la presenza di un singolo gruppo generatore di potenza fluida, costituito da una pompa a cilindrata fissa azionata da un motore elettrico e da una valvola limitatrice di pressione, che viene utilizzato per molteplici scopi: la conseguenza è che non è ottimizzato per l'applicazione specifica. In questo particolare utilizzo all'interno di un banco prova, il ciclo operativo prevede un consumo discontinuo di energia dal lato utenza e crea un elevato spreco di energia attraverso la valvola limitatrice.

In SmartFluidPower abbiamo inizialmente analizzato alternative più efficienti e adatte al ciclo di lavoro, come pompe a cilindrata variabile. L'obiettivo era migliorare un impianto esistente che già impiega una pompa a cilindrata fissa che, per vari motivi, il proprietario non vuole modificare: ad esempio, costo iniziale, maggiori problemi per la contaminazione del fluido, tempi di risposta maggiori. La soluzione più vantaggiosa è stata recuperare l'energia altrimenti dispersa, senza modificare la configurazione del sistema. L'altra alternativa poteva essere l'utilizzo di un motore idraulico che, però, verrebbe azionato frequentemente senza ricevere portata dall'impianto: le criticità sono le elevate perdite di trascinamento a vuoto e la rotazione del motore senza una portata sufficiente per lubrificare i meati interni, con conseguente surriscaldamento e usura. Le condizioni di esercizio considerate sono caratterizzate da alta pressione e bassa portata, per cui il sistema è paragonabile a una piccola centrale idraulica con turbina Pelton, utilizzata tradizionalmente in impianti posizionati su corsi d'acqua per la trasformazione dell'energia. L'implementazione della turbina è risultata molto più economica rispetto alle precedenti soluzioni standard analizzate».



3D dei due progetti di turbina Pelton e confronto delle efficienze con indicazione del punto di massimo

I vari passaggi del progetto

Entriamo nel dettaglio, analizzando passo passo tutti gli step di progetto...

«Innanzitutto, è stato indispensabile confrontare le nostre specifiche progettuali con quelle degli impianti idraulici che normalmente impiegano questo tipo di turbine. Nonostante le turbine Pelton siano progettate per interfacciarsi con alta pressione e bassa portata, ci siamo subito resi conto che la nostra applicazione avrebbe portato fuori scala questi parametri. La progettazione in SmartFluidPower è quindi iniziata con la valutazione adimensionale di tutti i parametri di progetto, un approc-

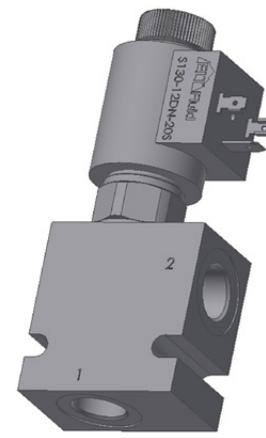
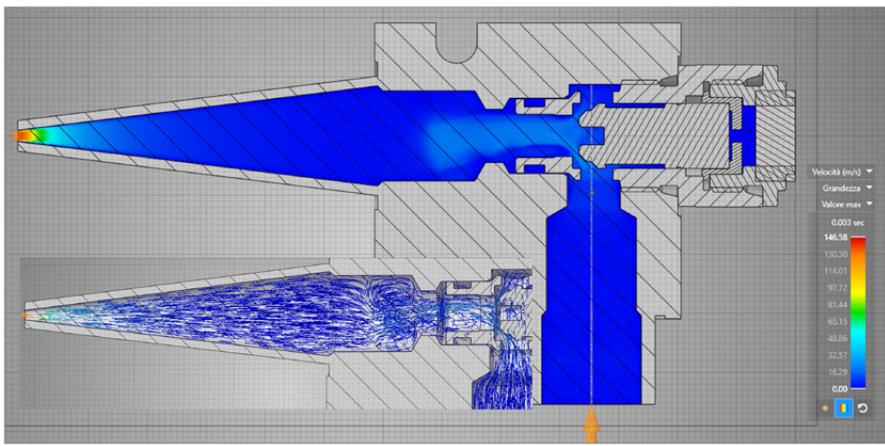
cio che viene normalmente utilizzato nella progettazione delle macchine idrauliche. Date le condizioni operative, è stato necessario integrare un riduttore tra turbina e pompa per ottimizzare la curva di rendimento caratteristica calcolata. Si è proceduto con la progettazione della turbina a un getto seguendo due approcci differenti, con il conseguente sviluppo di due design con caratteristiche geometriche e prestazionali ben distinte. Il primo approccio (A) è impiegato per piccoli impianti e dimensiona l'intera turbina sul diametro del getto, utilizzando alcune formulazioni empiriche specifiche per installazioni di questo tipo. Il secondo (B) è più recente e te-

oricamente più adattabile ai casi generali, utilizzando come parametri di progetto sia la velocità che il diametro del getto del fluido.

Entrambe le geometrie sono state verificate con analisi FEM a fatica per la stima del numero di cicli prima di arrivare a rottura. In seguito, è stato progettato il secondo componente critico che è l'ugello accoppiato con una valvola elettrica di ELT Fluid con l'ausilio di simulazioni CFD per calcolare la portata in uscita. Infine, sono stati progettati gli altri elementi del sistema come l'albero, i cuscinetti, la carcassa, i collegamenti e il riduttore. Tutte le formule utilizzate sono state inserite all'interno di un'interfaccia in Excel che permette di aggiornare rapidamente parametri progettuali e prestazioni di entrambi i design, in caso di modifica delle condizioni operative».

Quindi si è passati alla simulazione con un modello...

«Sì, nella fase successiva abbiamo modellato il circuito del banco prova con l'approccio a parametri concentrati di OpenModelica e utilizzando i componenti virtuali della libreria dinamica di SmartFluidPower. Nel modello virtuale (vedi pag. 24) è presente la pompa (1) e il motore elettrico (2) collegati con il riduttore (3) alla turbina Pelton (4). La pompa genera una portata volumetrica costante, mentre la richiesta di portata utenza (5) è un input di progetto. Quando a lato utente non è richiesta portata, la pressione nell'impianto aumenta fino all'apertura della valvola di sequenza (6) che convoglia la portata in eccesso verso l'accumulatore (7). Al riempimento di quest'ultimo viene aperto l'ugello (8) che lascia fluire il fluido verso il modello di turbina che, elaborandolo, calcola la potenza meccanica. Il modello è stato fondamentale per simulare innanzitutto la funzionalità del circuito idraulico e, in particolare, la logica di controllo dell'accumulatore. Il secon-



Simulazione CFD dell'ugello accoppiato con una valvola elettrica di ELT

do scopo è stata l'analisi, sia del rendimento durante il ciclo di funzionamento, sia della complessa dinamica del sistema. Infatti in un minuto di funzionamento vengono effettuate diverse iniezioni da parte dell'accumulatore, che si apre verso la turbina al raggiungimento del valore massimo di pressione. Durante le iniezioni la turbina fornisce potenza per aiutare l'azionamento della pompa, mentre nel restante tempo funge da dissipatore a causa degli attriti e della resistenza con l'aria. Attraverso le simulazioni di un tipico ciclo operativo e i conseguenti risultati di efficienza, il design B è risultato più adatto a questo tipo di applicazione. Con esso il modello stima che tra la potenza meccanica all'albero e la potenza idraulica effettiva raccolta vi sia un 53% di efficienza complessiva, tutto il resto è perduto (23% dovuto alla linea di trasmissione di potenza e 24% è il potenziale scaricato dalla valvola limitatrice di pressione). L'introduzione della turbina Pelton ha permesso al sistema di raccogliere il potenziale della valvola con un recupero netto stimato di circa 11%».

Ulteriori conferme dalle verifiche sperimentali?

«In seguito alla progettazione delle turbine, ELT Fluid ha assemblato entrambi i prototipi fisici producendo alcuni componenti internamente e acquistando i rimanenti da fornitori esterni. Ha allestito il banco prova per il test dei componenti che è così strutturato (vedi pag. 25): a partire

Il punto di vista dell'impresa: la parola a ELT Fluid

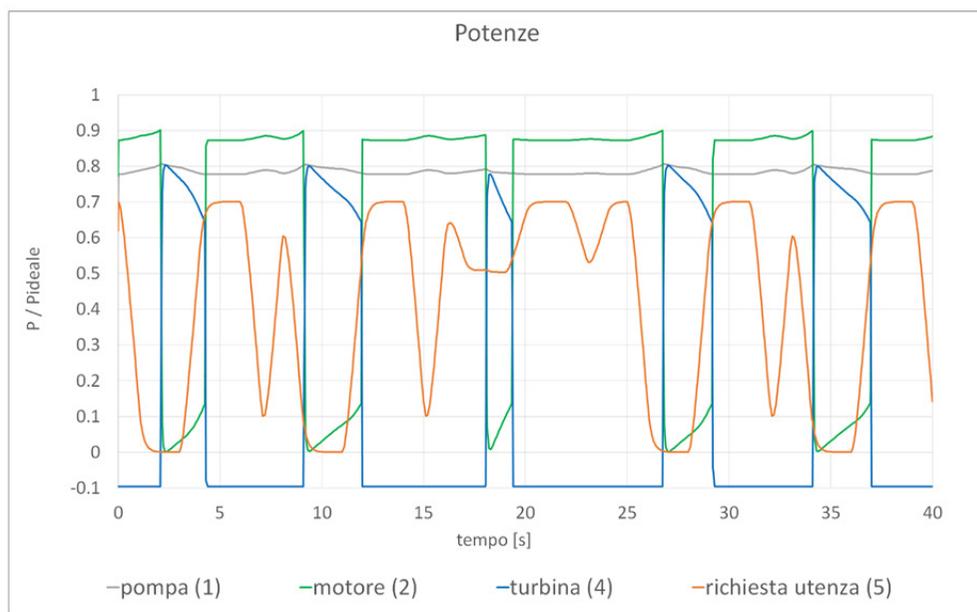
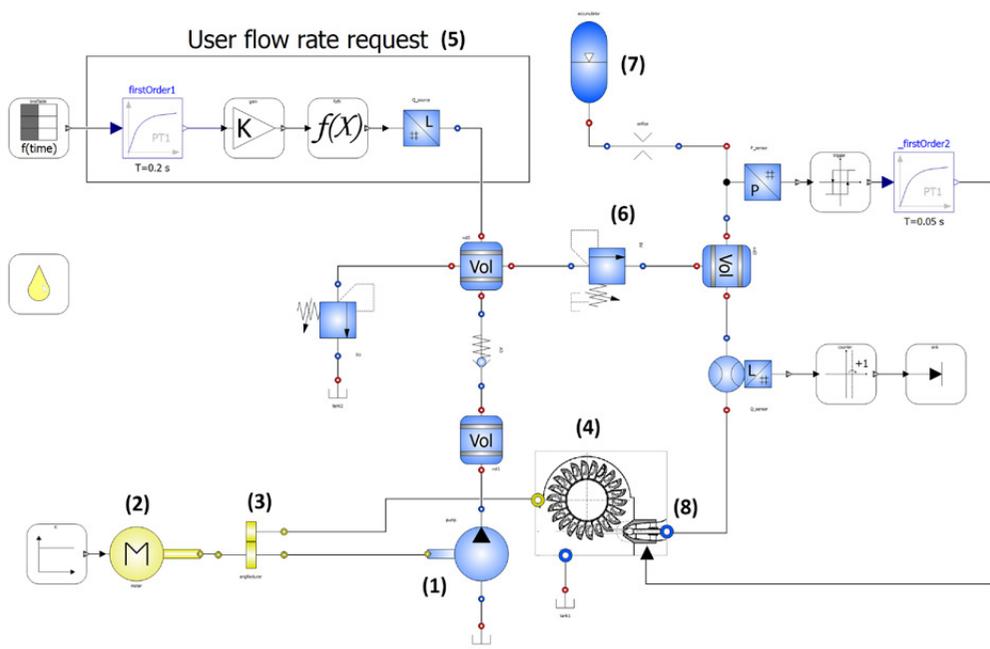
Fondata nel 2013, ELT Fluid è un'azienda che opera sul mercato Fluid Power come produttrice di valvole. Ha una sede legale e operativa in Italia, a Castelnuovo ne Monti in provincia di Reggio Emilia; ELT Fluid vanta anche un altro stabilimento produttivo all'estero, e più precisamente in Cina a Changsha, capoluogo dell'Hunan, inaugurato nel 2023. Con il motto "Drive your passion", ELT Fluid produce infatti principalmente valvole (di controllo di carico, di controllo flusso, di controllo pressione, valvole direzionali, valvole elettriche e valvole elettro proporzionali), come pure soluzioni speciali, bobine, corpi e cavità.

È attiva nel settore delle macchine agricole, dei veicoli industriali, delle macchine movimento terra, sollevamento e piattaforme aeree e applicazioni speciali. A fondare ELT Fluid, ormai più di una decina di anni fa, è stato Danilo Manfredi, che ne detiene l'attuale proprietà insieme al co-fondatore Imer lori e a un socio americano. Dopo aver per anni ricoperto il ruolo di Direttore Tecnico in Oleostar del gruppo Walvoil (oggi Interpump), Danilo Manfredi nel 1995 ha fondato e sviluppato l'azienda NEM Hydraulics (oggi parte del gruppo Helios), di cui ha ceduto le quote per dar vita a ELT Fluid nel 2013. È proprio lui a spiegarci intenti e sviluppi del recente progetto portato avanti in collaborazione con SmartFluidPower Srl di Reggio Emilia.

«L'idea nasce dalla ricerca legata al risparmio energetico, trasformando la portata non utilizzata in fonte di energia. La collaborazione con SmartFluidPower si è resa necessaria per accelerare la realizzazione dei prototipi e ottimizzare i dati di progetto iniziali. Il progetto innovativo è stato interamente finanziato con mezzi propri e con l'utilizzo degli sgravi fiscali legati alle attività di ricerca e sviluppo. Il brevetto riteniamo possa diventare un interessante strumento di collaborazione ed eventuale sviluppo con aziende costruttrici di pompe e di macchine per il sollevamento. L'obiettivo resta quello di poter garantire risparmio energetico, anche in impianti semplici e a basso costo, dove viene impiegata una pompa a cilindrata fissa. Quanto al nostro impegno odierno, stiamo ancora lavorando intensamente su diversi fronti per l'integrazione di sistemi intelligenti per il controllo delle valvole direzionali.»

dalla pompa [1] si genera la potenza idraulica destinata ad essere raccolta, trasformata dalla turbina Pelton [3] (messa in movimento attraverso l'ugello) e misurata con i sensori di portata e pressione [2]. La turbina trasforma la potenza idraulica in meccanica e, attraverso il riduttore [4], trascina un motore elettrico [5] (spento per ridurre la resistenza) collegato a una seconda pompa idraulica a cilindrata

fissa [6] che, a sua volta, genera portata misurabile con un sensore [7]. La linea idraulica in uscita dalla seconda pompa è strozzata da una valvola di massima [8] la cui taratura gestisce il carico resistente applicato alla pompa e quindi alla turbina: variando il carico è possibile modificare la velocità di rotazione della turbina e registrarne le prestazioni lungo la curva caratteristica. Dalle prove sperimentali



Modello del circuito di test con OpenModelica e confronto delle potenze in funzione del tempo di prova

tali sono state confermate le migliori prestazioni della turbina B, anche se è emersa una certa distanza tra la curva caratteristica simulata e quella reale. La differenza nel valore di picco è dovuta principalmente alla presenza di diversi elementi da muovere oltre alla turbina (riduttore, trasmissione meccanica e pompa) ognuno con la propria efficienza che abbassano il

valore complessivo misurato. Sarebbe quindi necessario calcolare separatamente l'efficienza degli altri componenti, per poi isolare quella reale della turbina. Un'altra ipotesi che è stata formulata riguarda le tolleranze stringenti sulla realizzazione dello spigolo di taglio del cucchiaio della turbina: un getto con queste caratteristiche rischia facilmente di causare distacco della vena fluida dalla superficie del cucchiaio alla minima imperfezio-

ne. La differenza di andamento della curva può essere dovuta al comportamento del getto del fluido che, trattandosi di olio ad alta viscosità, ha un comportamento maggiormente turbolento rispetto all'acqua - con cui erano state ricavate le formule empiriche nei dimensionamenti - inficiando il tratto di alta velocità della turbina».

Le prospettive

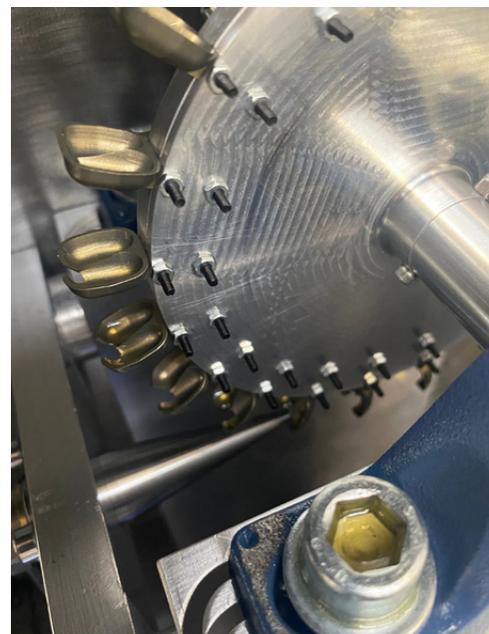
Un progetto innovativo che ha portato anche alla registrazione di un brevetto. Con quali vantaggi per il mondo dell'oleodinamica?

«Come sappiamo, i sistemi oleodinamici sono ampiamente utilizzati in applicazioni industriali e mobili a causa degli evidenti vantaggi nella trasmissione di potenza, ma presentano anche alcune criticità. Una delle più importanti, al giorno d'oggi, è la bassa efficienza. Di conseguenza il recupero e la dissipazione energetica sono temi molto importanti della ricerca accademica e industriale nel campo del Fluid Power. Per questo motivo, risulta molto interessante una soluzione che permette di recuperare l'energia idraulica, altrimenti sprecata attraverso le valvole limitatrici di pressione (sempre presenti nei tipici sistemi oleodinamici). Rispetto a soluzioni già note - che possono raggiungere maggiori efficienze, ma che prevedono la modifica del sistema o almeno di alcuni suoi componenti - in questo caso abbiamo l'enorme vantaggio che la turbina può essere inserita in linea, senza apportare sostanziali cambiamenti nella logica dell'impianto. Inoltre questa soluzione è stata testata in un impianto fisso, ma le sue caratteristiche di compattezza, leggerezza e scalabilità la rendono facilmente adattabile anche su applicazioni mobili. Proprio per l'insieme particolare e innovativo di queste caratteristiche, ELT Fluid ha depositato il "brevetto per invenzione industriale" per l'intero sistema oleodinamico

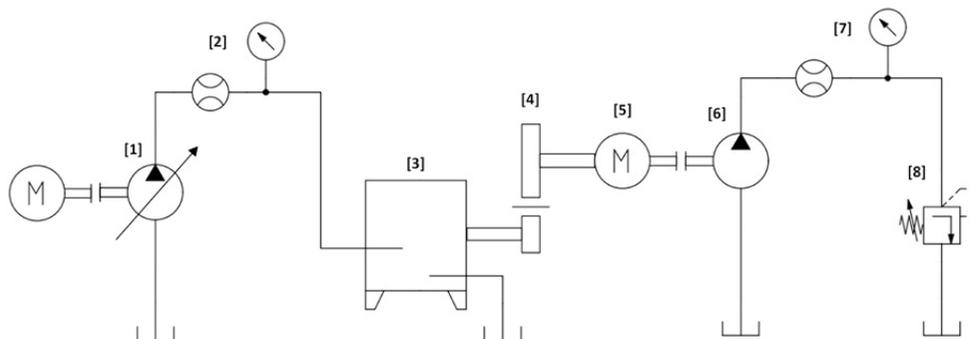
che comprende, oltre alla turbina Pelton, la pompa a monte, la valvola regolabile, l'ugello e le linee idrauliche di collegamento. Oltre alla protezione dell'idea innovativa, il brevetto risulta un mezzo fondamentale nell'ottica di avviare future collaborazioni e ulteriori sviluppi del progetto con le aziende del settore».

È un primo passo per nuove sfide nel settore, magari da affrontare nuovamente in modo congiunto?

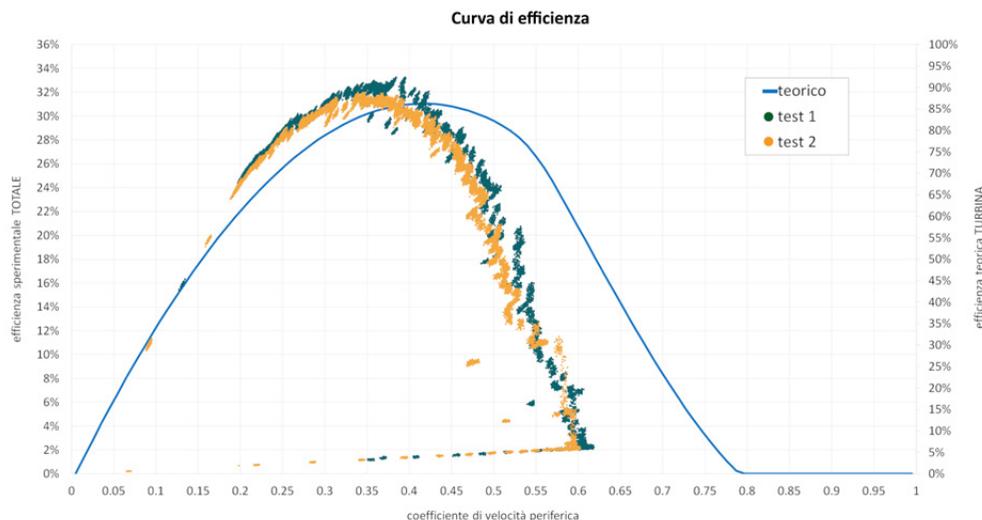
«Come facevo presente, il processo di progettazione che abbiamo utilizzato in SmartFluidPower ha combinato diversi strumenti nelle varie fasi: all'inizio l'utilizzo delle formule teoriche raccolte poi in un'interfaccia per definire i parametri della turbina, le simulazioni FEM e CFD per le verifiche delle geometrie sviluppate e, alla fine, la modellazione virtuale del sistema per l'analisi dinamica delle prestazioni. In seguito a questa prima collaborazione, sono stati portati avanti nuovi progetti riguardanti le valvole oleodinamiche che utilizzano il supporto intensivo di strumenti di calcolo e simulazione. Un esempio è il recente studio sulle forze di incollaggio che interessano le spole delle valvole. Discretizzando il meato di fluido tra spola e sede con una griglia di punti, abbiamo creato uno strumento di risoluzione iterativa delle equazioni associate, verificato i risultati con gli articoli scientifici in letteratura e, infine, realizzato un'interfaccia personalizzata in cui inserire i parametri e visualizzare rapidamente forze di incollaggio e portate di trafilamento calcolate. Il metodo della progettazione fortemente integrata con software di simulazione e strumenti personalizzati di calcolo, ha convinto la direzione di ELT Fluid con cui si è consolidata la collaborazione per lo sviluppo di nuovi progetti di ricerca e consulenza nel settore delle valvole oleodinamiche e delle loro applicazioni industriali».



Dettaglio dei cucchiai della turbina (progetto B)



Circuito idraulico del banco di prova delle turbine



Confronto tra due curve di efficienza sperimentali (valori a sinistra) con la curva di efficienza teorica (valori a destra)