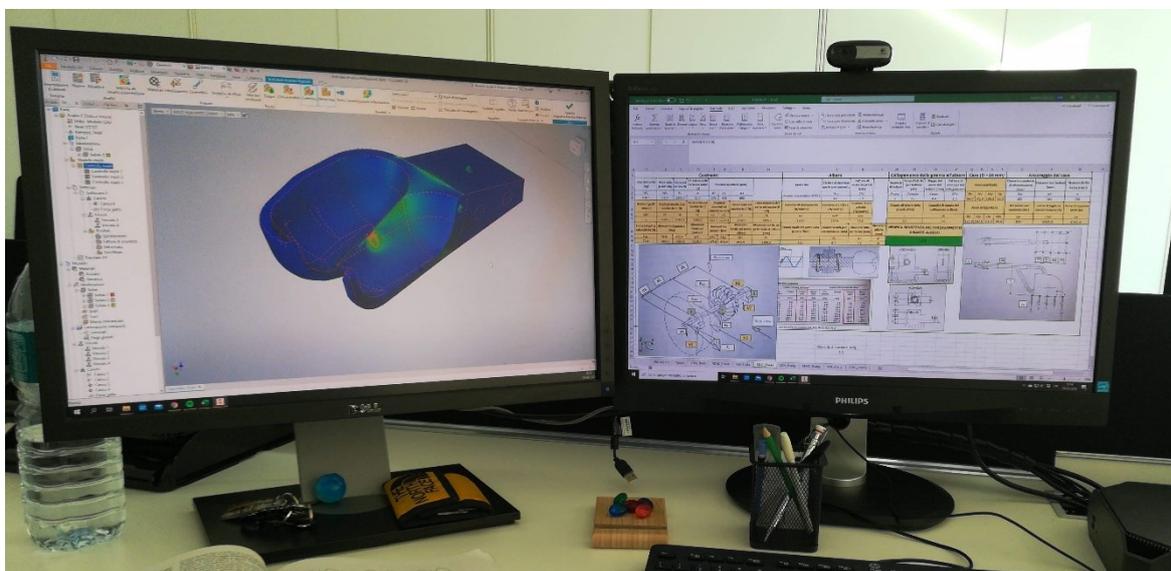


## Laboratorio di Idraulica del Veicolo (LIV)

**Prof. Barbara Zardin, Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia-Unimore**

Il Laboratorio di Idraulica del Veicolo (LIV) [1] del Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari (Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Unimore, sede di Modena) nasce nel 2010, raccogliendo in un luogo fisico all'interno del Dipartimento le competenze e attività svolte da sempre nel settore dell'Oleodinamica presso il Dipartimento. Fornire una locazione e un nome specifico al gruppo di lavoro è stato un passo importante perché ha dato maggiore visibilità alle tematiche di ricerca e formazione del settore nei confronti dei colleghi, degli studenti e delle aziende del territorio. Il LIV accoglie tesisti, assegnisti di ricerca e dottorandi interessati ad approfondire la loro formazione attraverso attività di ricerca, modellazione e simulazione di sistemi e componenti oleodinamici e pneumatici. Al momento, sono presenti due studenti di dottorato del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Meccanica e del Veicolo, due assegnisti di ricerca, tre tesisti che svolgono la loro attività presso il laboratorio mentre altri 6 tesisti stanno svolgendo un tirocinio curriculare presso aziende del settore, seguiti per la parte di sviluppo del lavoro di tesi dal personale del LIV. Mediamente, il numero di tesisti che decidono di intraprendere attività nel settore oleodinamico sono circa una trentina all'anno e provengono sia dal corso di laurea magistrale in Ingegneria Meccanica, dove sono attivati l'insegnamento di *Oleodinamica* (nel curriculum progettazione di prodotto) e di *Sistemi Idraulici* (nel curriculum progettazione di processo) che dal corso di laurea magistrale in Ingegneria del Veicolo, dove è attivato l'insegnamento di *Simulazione di componenti e sistemi idraulici per applicazione veicolo* (nel curriculum sistema veicolo) e infine dal corso di laurea magistrale Advanced Automotive Engineering del Muner - Motor Vehicle University of Emilia Romagna - dove, nel curriculum High Performance Car Design, è attivato l'insegnamento *Automotive Fluid Power Systems*. Da sempre i docenti del gruppo si impegnano a formare gli studenti dei corsi di laurea in Ingegneria di Modena in modo che abbiano le competenze per lavorare nel settore Oleodinamico e Pneumatico, cercando di declinare le conoscenze necessarie sia per le applicazioni industriali, che per le applicazioni veicolo, sia esso stradale, agricolo o macchina movimento terra.



Sviluppo di strumenti dedicati per la modellazione e la simulazione di componenti idraulici

Inoltre, la promozione nell'utilizzo di strumenti di modellazione e simulazione è sempre stato un aspetto prioritario nello sviluppo delle attività di collaborazione con le aziende del settore, calibrando con attenzione la scelta dello strumento opportuno in base allo scopo dell'attività e creando, quando necessario, strumenti dedicati sviluppati in diversi linguaggi di programmazione (ad esempio Visual Basic, C, Matlab, OpenModelica).

Proprio da questa vocazione ed esperienza nella modellazione di sistemi e componenti delle applicazioni oleodinamiche e pneumatiche è nato il progetto SpinOff SmartFluidPower, che oggi si è trasformato in una società indipendente che offre strumenti e soluzioni per la progettazione, validazione e caratterizzazione virtuale di sistemi e componenti idraulici e pneumatici ([2]).

Strumenti di simulazione sviluppati in OpenModelica da Smartfluidpower [2].

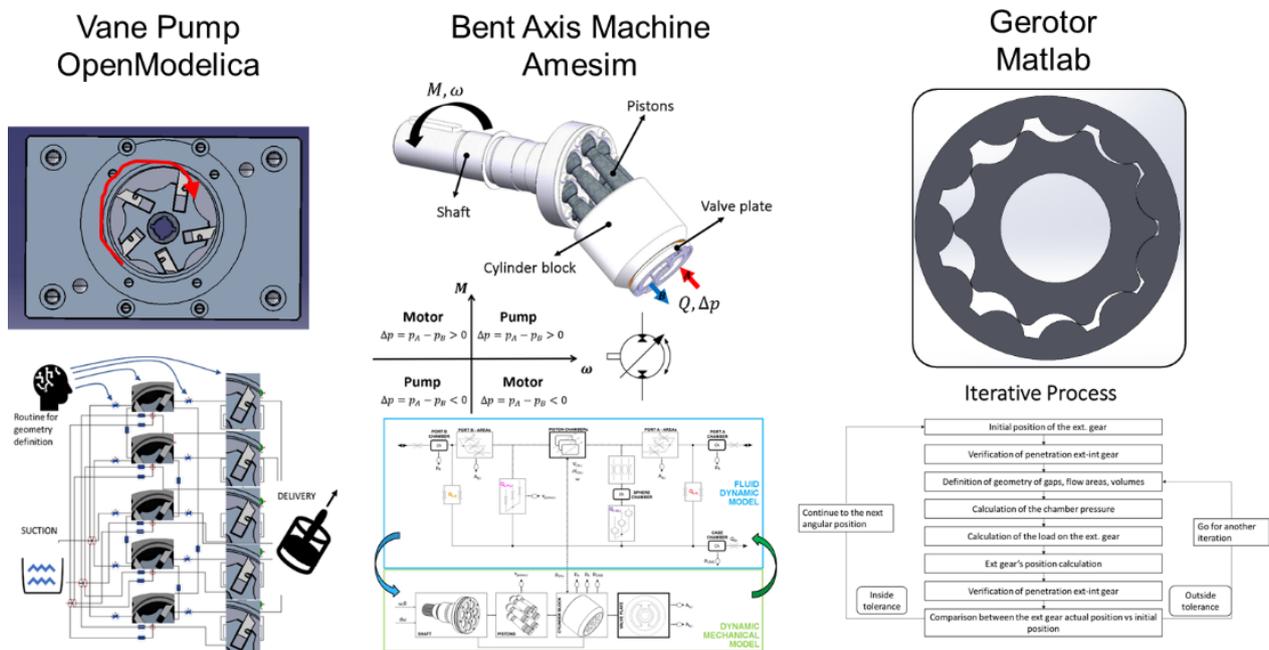
Per concludere, il laboratorio è dotato di un banco prova oleodinamico, caratterizzato da una potenza nominale di 15 kW, costituito da una centralina oleodinamica con pompa a cilindrata variabile con compensatore load sensing e compensatore di pressione, che può alimentare diversi pannelli. Alcuni di questi sono puramente didattici e dimostrativi, altri sono stati progettati e utilizzati per la caratterizzazione di distributori proporzionali LS di architettura classica e distributori a metering indipendente.

### Attività e progetti del laboratorio LIV

Nell'ambito delle attività di ricerca del laboratorio, sviluppate attraverso collaborazioni con aziende del territorio e attraverso finanziamenti provenienti da progetti regionali, nazionali e europei, si identificano alcune tematiche principali a cui dedichiamo un approfondimento qui nel seguito e che in parte sono state illustrate nell'ambito della Giornata per Oleodinamica svoltasi a Torino il 20 Giugno 2023. L'elenco delle pubblicazioni più recenti relative a queste tematiche è reperibile su Scopus ([3]).

Una prima tematica che è sempre stata centrale nelle attività del laboratorio è la modellazione di macchine volumetriche e componenti di regolazione: pompe e motori idraulici sono componenti fondamentali dei sistemi oleodinamici e sono caratterizzati da alcuni aspetti positivi quali la robustezza, l'elevato rapporto tra la potenza elaborata e il peso del componente, la relativa facilità di

regolazione (attraverso la variazione della cilindrata). Esistono tuttavia alcune caratteristiche che possono sicuramente essere migliorate, quali il rendimento, la rumorosità, l'estensione delle condizioni operative senza incidere (troppo) negativamente sulle prestazioni. Nel Laboratorio LIV il focus è nello sforzo di creare strumenti per analizzare questi aspetti, avvalendosi talvolta di software commerciali e sempre più spesso di strumenti specificamente sviluppati internamente attraverso la programmazione, dedicati allo studio di uno o più aspetti specifici. Negli anni quindi abbiamo creato strumenti di simulazione dedicati alle macchine ad ingranaggi, alle macchine a pistoni assiali, a pistoni radiali e infine a palette. Usando questi strumenti è possibile studiare il comportamento dinamico delle macchine volumetriche, ricevendo informazioni sulla transizione della pressione nelle camere pompanti, sulla portata istantanea, sugli andamenti istantanei delle forze e coppie scambiate e i micro-spostamenti dei singoli componenti della macchina. Tutte caratteristiche legate al design delle luci di alta e bassa pressione e alla specifica architettura della macchina studiata. Inoltre sono stati implementati altri strumenti specifici per analizzare l'aspetto della lubrificazione con approcci fluidodinamici 0-dimensionali semplificati o bi-dimensionali più complessi, applicati sia a macchine volumetriche ma anche a attuatori lineari.



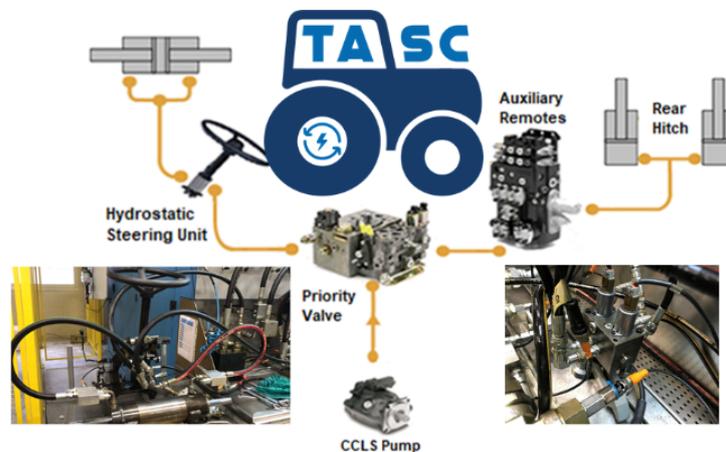
Modelli sviluppati per pompe e motori idraulici in diversi ambienti di simulazione.

Molto sforzo è stato dedicato anche alla modellazione nel dettaglio di valvole oleodinamiche di svariate tipologie, con l'obiettivo di creare strumenti di simulazione che possano essere utilizzati già in fase di progettazione del componente per validarne le prestazioni e aiutare nella selezione delle soluzioni prototipali più promettenti. Questa attività ha ricevuto forte impulso negli ultimi anni grazie alla collaborazione intensa con una azienda del territorio che ha prodotto risultati importanti dimostrando ancora una volta la forza e l'utilità dell'applicazione della simulazione nell'ambito di nostro interesse [4].

Per valvole complesse, come distributori load sensing compensati o distributori a "metering indipendente" di diverse tipologie, la modellazione di dettaglio è stata indirizzata invece alla valutazione delle prestazioni energetiche dell'interno sistema in cui tali valvole vengono utilizzate, argomento che ci porta direttamente alla seconda tematica di interesse affrontata all'interno del LIV,

lo studio di sistemi idraulici complessi per la gestione delle attuazioni e delle funzioni di sterzata, frenatura e sospensione di veicoli off-highway ai fini della valutazione delle prestazioni, del consumo energetico, di architetture alternative meno dissipative.

Tali attività sono state recentemente sviluppate attraverso il progetto TASC [5] e continueranno ad essere approfondite nel progetto FACT [6] per quello che riguarda il sottosistema idraulico o ibrido elettro-idraulico di un trattore agricolo. Inoltre, diverse collaborazioni con aziende del territorio hanno portato nello specifico a sviluppare analisi di sistemi di sospensione, sterzata e frenatura e locomozione, per macchine agricole e macchine movimento terra (pale gommate, escavatori).



| Mission Profile                          | Hyd Power BASELINE [kW] | Hyd Power VPM with ALS + FS [kW] | Saving [%] |
|--|-------------------------|----------------------------------|------------|
| Steering                                 | 0.45                    | 0.3                              | 33%        |
| Step input to directional valves         | 19.09                   | 16.72                            | 12.4%      |
| Steering + directional valves            | 12.80                   | 12.65                            | 1.2%       |
| End Field test simulation – average flow | 3.92                    | 3.03                             | 22.7%      |
| End Field test simulation – max flow     | 6.9                     | 6.59                             | 4.5%       |
| Fertilizer Spreader                      | 6.57                    | 5.71                             | 13%        |

Analisi del sottosistema idraulico di un trattore agricolo, confronto tra architettura standard e alternativa eseguita nell'ambito del progetto TASC [5].

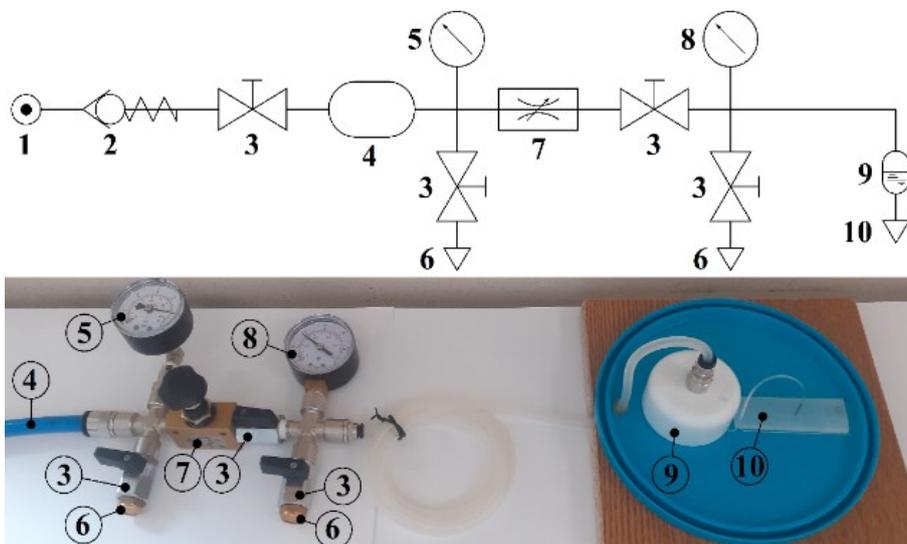
Grazie alle competenze sviluppate negli anni il laboratorio LIV è stato recentemente coinvolto all'interno di un progetto europeo dove UNIMORE figura come partner. Si tratta del progetto H2Ref-Demo [7], che si propone la realizzazione di una stazione di rifornimento dell'idrogeno per mezzi pesanti (camion, bus) nel sito di HRS a Grenoble in Francia. La particolarità della stazione è il sistema di compressione dell'idrogeno che sfrutta la tecnologia oleodinamica e gli accumulatori idropneumatici. Unimore, e in particolare il laboratorio LIV, hanno la responsabilità di modellare e simulare l'intero processo, mettendo a punto i parametri di progetto inizialmente ipotizzati, verificando le prestazioni e risolvendo le criticità. Oltre alla modellazione fisica del sistema, viene richiesta anche la messa a punto della logica di controllo del processo identificando il numero e tipo di sensori adatti allo scopo. Il progetto ha avuto inizio nel gennaio 2023 e si trova ora nella fase di validazione della progettazione e verifica sperimentale delle caratteristiche e del comportamento dei componenti maggiormente impattanti (in particolare gli accumulatori). Il coordinatore del progetto è il CETIM (French Technical Center for Mechanical Industries), partecipano inoltre le aziende: H2Nova (responsabile dello sviluppo del sistema di compressione dell'idrogeno), HRS (responsabile

per la costruzione della stazione prototipo), Hydac (progettazione e test delle membrane degli accumulatori), Faber (progettazione e test dei corpi degli accumulatori) e la University of Technology of Compiègne UTC (responsabile dello sviluppo del sistema idraulico e di test degli accumulatori).



Meeting del progetto H2Ref Demo per la discussione dei risultati sulla modellazione e la simulazione del sistema di compressione dell'idrogeno [7].

Infine una breve menzione dedicata ad un nuovo filone di ricerca per lo studio, progettazione e prototipazione di dispositivi e circuiti per applicazioni microfluidiche. Questa attività non è sviluppata solamente dal LIV ma in cooperazione con diversi dipartimenti e laboratori interni a Unimore. Si tratta di un'esperienza che si dimostra sempre più arricchente e concreta, dove ogni ricercatore mette a disposizione la propria competenza per arrivare alla realizzazione concreta di dispositivi microfluidici utili per applicazioni di ricerca. In pratica, si tratta di un vero e proprio laboratorio diffuso in cui il ruolo del LIV è dedicato allo studio, simulazione e progettazione dei dispositivi dal punto di vista fluidodinamico e alla messa a punto dei sistemi di alimentazione e regolazione dei flussi per i dispositivi.



Circuito di alimentazione di un dispositivo microfluidico (10) per miscelare due fluidi diversi.

1. [Laboratorio di Idraulica del Veicolo, DIEF, Unimore.](#)
2. <https://www.smartfluidpower.it/>
3. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=21744167200>
4. <https://www.smau.it/milano/casi-successo>
5. TASC Trattrici agricole Smart & Clean (<https://www.tascproject.eu/>), Progetto cofinanziato dal fondo europeo di sviluppo regionale POR FESR Emilia Romagna 2014/2020
6. FACT Future of the Agricultural Tractors, Progetto cofinanziato dal fondo europeo di sviluppo regionale PR FESR Emilia Romagna 2021/2027
7. Il progetto H2Ref-Demo è cofinanziato dall'Unione Europea attraverso il programma "Horizon Europe" incluso nel "Clean Hydrogen Partnership" (grant agreement No. 101101517).