

# FIRENZE RACE TEAM

L'esperienza degli studenti dell'Università di Firenze nella Formula Student, categoria Driveless, come esempio di sviluppo di un sistema di guida autonoma 'made in Italy'

di Caterina Lotti - Foto © Formula Student Germany (Sturm, Schultz, Klein, Soukup)



Lo schieramento dei veicoli e degli studenti che hanno preso parte all'edizione 2017 della Formula Student, le cui fasi finali si sono svolte sull'Autodromo di Hockenheim, in Germania.

Firenze Race Team è la squadra di progettazione di veicoli monoposto da competizione dell'Ateneo fiorentino iscritto alla competizione di Formula Student organizzata quest'anno in Germania dal 7 al 14 agosto sul famoso circuito di Hockenheim. Nella categoria Driverless il team italiano era in gara con altre 14 squadre universitarie provenienti da Germania, Svizzera, Austria e Cina.

Il Team fiorentino, nato 17 anni fa, ha conseguito importanti risultati, tra cui spicca il terzo posto assoluto nella

Formula Student 2016, operando in stretta collaborazione coi Dipartimenti di Ingegneria Industriale, di Ingegneria dell'Informazione e di Economia e Management.

Per chi non conoscesse l'argomento, la Formula Student è una competizione internazionale e annuale tra studenti di ingegneria che, coadiuvati e coordinati dai propri atenei, progettano e realizzano vetture da corsa di tipo "Formula" giudicate in base alle caratteristiche di design e di comportamento in

pista, mediante un punteggio ottenuto sulla base di due tipi di prove statiche e dinamiche. Nella prima prova gli studenti illustrano il progetto della propria vettura, i giudici lo valutano sia dal punto di vista prestazionale/tecnologico (Design) sia dal punto di vista dei costi per la sua realizzazione (Cost Analysis). Infine è prevista la preparazione di un piano industriale e finanziario (Business Presentation) a conforto della reale fattibilità del progetto.

Gli eventi dinamici mettono invece a confronto le reali prestazioni della vettura in pista, in questo caso in modalità a guida autonoma, con prove di accelerazione su 75 m e di tenuta laterale in curva; nella gara conclusiva, a tempo su 10 giri di pista, sono quindi testati l'affidabilità dei sistemi e le prestazioni dell'auto. Ad Hockenheim il team fiorentino ha presentato in anteprima la vettura prototipo FR-17DT, un vero e proprio veicolo a guida autonoma. A differenza delle avversarie di categoria, tutte spinte da motori elettrici, il sistema di guida autonoma proposto dal team italiano era integrato in un veicolo monoposto con motore a combustione interna.

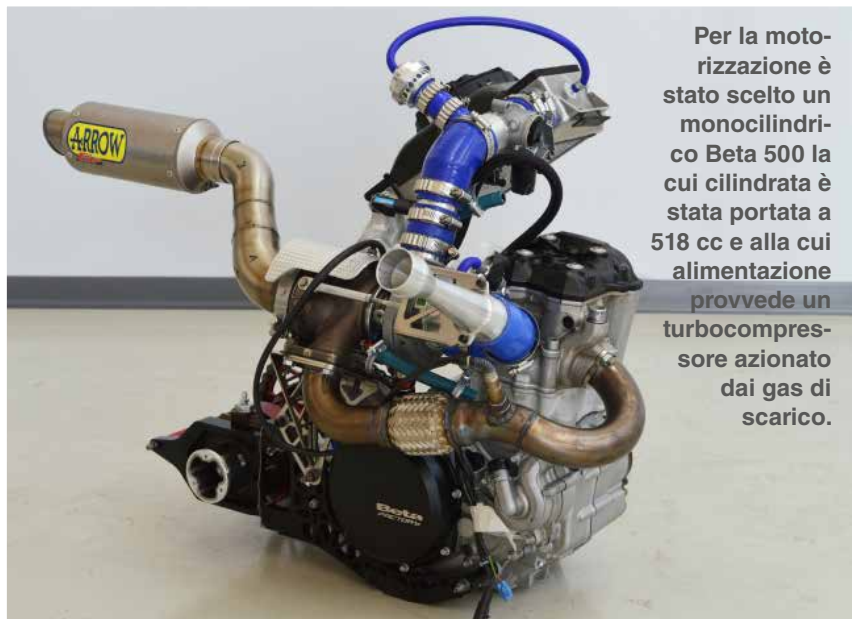
### Motore motociclistico ma turbo

La monoposto nasce da un progetto datato 2016 impostato seguendo la filosofia del 'lean design', ovvero puntando alla semplicità e minimizzando il superfluo, rendendo ogni componente strettamente necessario e bilanciato con gli altri, in modo tale da ridurre i tempi e i costi di gestione e sviluppo delle modifiche. Gli studenti hanno seguito questa strada per integrare nel modo più efficiente le tecnologie di guida autonoma al progetto dell'anno precedente. La FR17-DT è equipaggiata con un monocilindrico Beta 498RR con distribuzione bialbero quattro valvole raffreddato a liquido. È un motore super-quadro di derivazione enduro con una cilindrata di 498 cc le cui caratteristiche





La monoposto esposta al Motor Show di Bologna.



Per la motorizzazione è stato scelto un monocilindrico Beta 500 la cui cilindrata è stata portata a 518 cc e alla cui alimentazione provvede un turbocompressore azionato dai gas di scarico.

fondamentali sono la leggerezza e l'elevata potenza specifica. Per ottenere più potenza, coppia ed efficienza è stato aumentato l'alesaggio per portare la cilindrata a 518 cc ed è stato dotato di sovralimentazione tramite turbocompressore Garrett

MGT12 accoppiato a un intercooler. Il turbocompressore è gestito da un attuttore elettronico wastegate, controllato da una centralina motore in configurazione open e totalmente personalizzata. L'attuttore elettronico incorpora un

motore elettrico CC collegato a un sensore di posizione per regolare l'apertura della porta di scarico della turbina. Il software della centralina motore è stato modificato per controllare la wastegate come una ETC, eliminando la necessità di un'altra ECU che traduca i segnali. I vantaggi dell'uso della wastegate elettronica sono principalmente due: dal momento che il suo funzionamento è completamente gestito dalla centralina del motore, la sua apertura è completamente personalizzabile, con la possibilità di creare mappe differenti per ottenere il miglior risultato in ogni tipo di competizione o percorso. L'altro vantaggio è dato dal fatto che l'attuatore elettronico della wastegate, a differenza di quello controllato meccanicamente, è indipendente da ciò che accade nella linea di aspirazione.

Il motore è stato ottimizzato me-





Le prime prove in pista, prima della trasferta in Germania.

dante un modello mono-dimensionale e testato su un banco di prova motore, così come i sistemi di aspirazione e scarico, che sono stati analizzati con FEA. La FR17-DT utilizza la frizione e il cambio originali del motore Beta. Il primo viene azionato da un attuatore elettroidraulico, il secondo attraverso un attuatore elettromeccanico montato orizzontalmente. La conversione del moto rotativo del motore elettrico in movimento lineare adatto a muovere la leva del cambio è garantito da una vite senza fine collegata ad essa mediante una barra di spinta/trazione. Questi due attuatori sono gestiti da una ECU integrata e completamente dedicata.

## La guida autonoma

Al veicolo a combustione interna sono integrate tecnologie di guida autonoma. Le videocamere e i

sensori che compongono il Vision System, permettono al veicolo di identificare la propria posizione e l'orientamento nell'ambiente che lo circonda. Inoltre, le avanzate tecniche di Computer Vision permettono il riconoscimento degli oggetti e in particolare dei coni stradali e della segnaletica orizzontale che indica i limiti della pista (o della strada).

Le informazioni trasmesse dai sensori sono recepite dalla cosiddetta tecnologia dell'Alto Livello, ossia quella che controlla e gestisce il compito della guida, dalle manovre alla destinazione, fino alla modalità di guida. Tutto questo si trasforma in input trasmessi alla tecnologia del Basso Livello, che traduce in movimenti le informazioni provenienti dal livello più alto comandando lo sterzo, l'acceleratore, il sistema frenante, la frizione e il cambio. Potremmo assimilare il rapporto tra i due livelli come quel-

lo tra il cervello e i muscoli del corpo umano (Fig.1). Mentre, il Sistema di Computer Vision è il responsabile del rilevamento della strada (attraverso il rilevamento dei coni) e il calcolo della traiettoria ideale.

Gli strumenti utilizzati per ottenere il rilevamento di oggetti in real-time, mediante l'applicazione di un'unica rete neurale, sono: la telecamera (FLIR – Chameleon 3 Camera, Fujifilm HD Vari-Focal 3.8-13mm), la scheda Nvidia – Jetson TX1 (un kit di sviluppo modulare che permette ai produttori di automobili di creare e testare facilmente applicazioni con grafica impegnativa e di computer-vision che spaziano dalle soluzioni di infotainment veicolare, ai cruscotti digitali per arrivare sino ai sistemi avanzati di assistenza al conducente, le ADAS) e i software Linux e YOLO, acronimo di You Only Look Once. Il modello ricavato da questi

Il Team al lavoro presentano il veicolo ai giudici incaricati di assegnare il punteggio statico.



software applica un'unica rete neurale all'immagine completa che viene suddivisa in regioni e prevede le caselle di confine e le probabilità per ogni regione quindi le sue previsioni sono informate dal contesto globale nell'immagine. I suddetti software sono gestiti da Jetson TX1, che permette il rilevamento, rispetto ai sistemi di classificazione, con un tempo di esecuzione 1000 volte più veloce rispetto a sistemi come R-CNN.

In primo luogo si realizza la formazione della Rete Neurale Convolutionale YOLO (descritta sopra) con il set di dati composto da immagini estratte dalla fotocamera che rappresenta i coni. In questo modo la CNN può rilevare i coni e con l'algoritmo integrato su YOLO può delimitare la strada (come mostrato in Tabella 1). Infine, è presente un algoritmo per fare l'Omografia con lo scopo di tradurre le coordinate di pixel nelle coordinate del mondo reale. Con

questo algoritmo, a ogni fotogramma proveniente in tempo reale dalla fotocamera, possiamo calcolare la traiettoria dell'auto e la distanza dalla traiettoria ideale. Tutti i componenti software sono stati installati su scheda Jetson TX1.

Il controllore scelto per l'Alto Livello è un MPC-LTV, e si basa su un modello di veicolo che considera anche la dinamica di slittamento dello pneumatico. L'algoritmo di controllo prevede un orizzonte temporale del comportamento del veicolo di 10 passi con frequenza di 10Hz, ossia un orizzonte di 1 secondo, e in base a tale predizione genera i riferimenti ottimi, in questo caso di massime prestazioni per seguire la linea di mezz'ora senza causare instabilità della monoposto. Per gli attuatori svolge questo procedimento ogni 0,1 sec in base alle misurazioni fornitegli dai sensori montati sugli attuatori e in base alla

stima dello stato del veicolo fornita da UKF (Unscented Kalman Filter). La sintesi del controllore è stata implementata mediante l'utilizzo di Matlab-Simulink. Successivamente il codice è stato direttamente compilato su dSpace Microautobox. Il Solver utilizzato è GPAD, che risolve i problemi di ottimizzazione riguardo ai riferimenti da dare agli attuatori. Dunque, la funzione del controllore è di generare dei riferimenti da dare alla logica di Basso Livello, ossia agli attuatori, in modo da reiettare lo scostamento laterale, dato dalla Computer Vision, rispetto alla linea di mezz'ora in accordo con la dinamica del veicolo.

## Sensori, elettronica e attuatori

Le logiche di Basso Livello permettono di interpretare i dati provenienti dall'Alto Livello e trasformarli in azioni meccaniche sui vari apparati del veicolo. Per fare questo vengono



**Prima di scendere in pista il veicolo è stato controllato in tutte le sue componenti funzionali.**

utilizzate delle centraline progettate e realizzate all'interno del Team che sono in grado di interfacciarsi con vari tipi di sensori, comunicare con le altre centraline della macchina attraverso il protocollo CAN e pilotare motori con correnti fino a 30A di picco. In particolare, la centralina di sterzo riceve il riferimento dell'angolo di sterzo e attraverso un controllore PID comanda un motore elettrico collegato attraverso una cinghia direttamente al piantone; sulla cremagliera è poi presente un sensore rotativo che serve come feedback

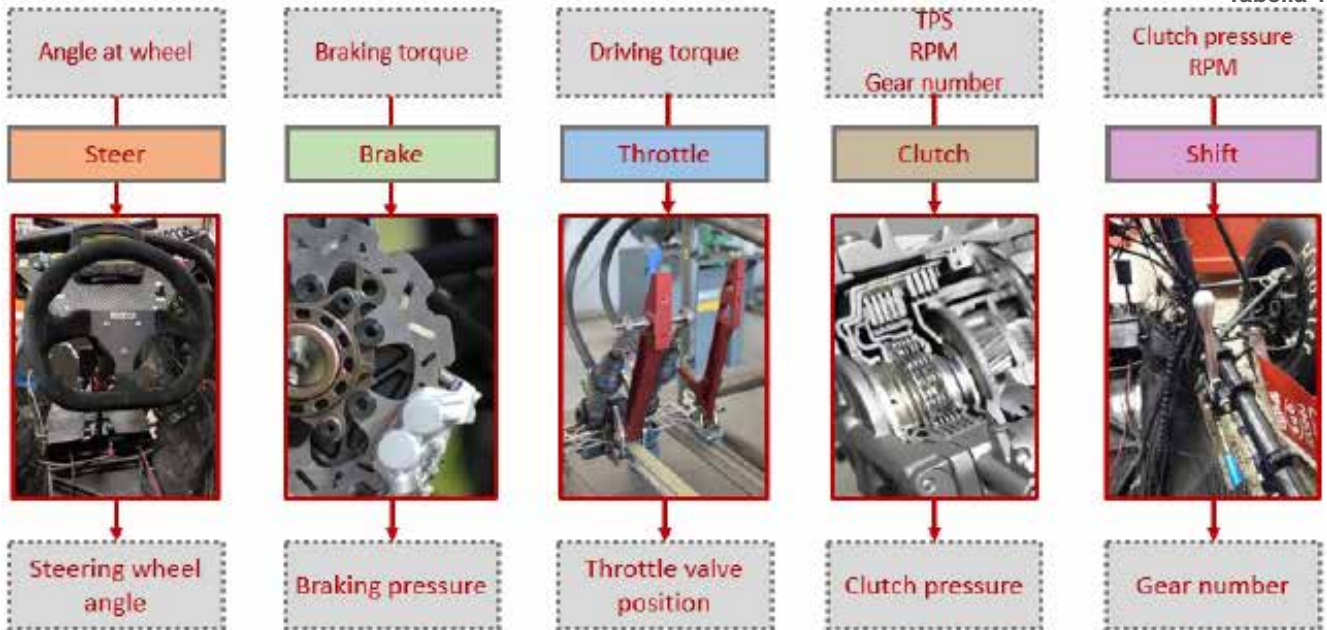
del controllo.

I freni e l'acceleratore sono gestiti da un'altra centralina che riceve in ingresso la coppia richiesta dall'Alto Livello: se questa coppia è positiva, viene trasformata in una percentuale di pressione del pedale e viene inviata alla centralina motore che procederà all'apertura della farfalla e all'aumento della coppia del motore. Viceversa, se la coppia richiesta è negativa, la centralina procederà a frenare il veicolo attraverso un controllore PID che comanda un attuatore elettromeccanico, fornito da Mec-

canica42 (uno spin-off dell'Università di Firenze), che va ad agire sul pedale del freno e comanda la pressione all'interno dell'impianto frenante fino a ottenere la coppia di frenata desiderata. Infine è presente una centralina che gestisce il cambio e la frizione, quest'ultima non dipende dai segnali provenienti dalla logica di Alto Livello, infatti la pressione della frizione e la marcia dipendono solo dallo stato del motore, cercando di mantenere il motore sempre al massimo della sua efficienza. La frizione viene controllata da un PID che agisce attraverso il CAN bus su un attuatore idraulico; la pressione all'interno dell'impianto viene controllata dipendentemente dalla posizione della farfalla, dal numero di giri motore e dalla marcia attuale. Il cambio marcia, invece, dipende dalla pressione del circuito idraulico della frizione e dal numero di giri del motore. Per cambiare marcia viene utilizzato un attuatore sviluppato da Meccanica



Tabella 1



42 che va ad agire direttamente sulla leva del cambio posta sul motore. Questo sistema utilizza un PID per il controllo e ha due sensori per la retroazione, uno sulla leva del cambio per capire la sua posizione e uno sul tamburo preselettore del cambio per avere la conferma della marcia inserita. Tutti i sistemi sono stati progettati per essere robusti e affidabili, infatti sono state inserite molte ridondanze e controlli di tutti i possibili errori. In caso si dovesse presentare qualunque problema che non può essere risolto dalle ridondanze, il sistema procede allo spegnimento del motore e ad attuare la frenata d'emergenza.

## La prova finale

Naturalmente le attività sono state

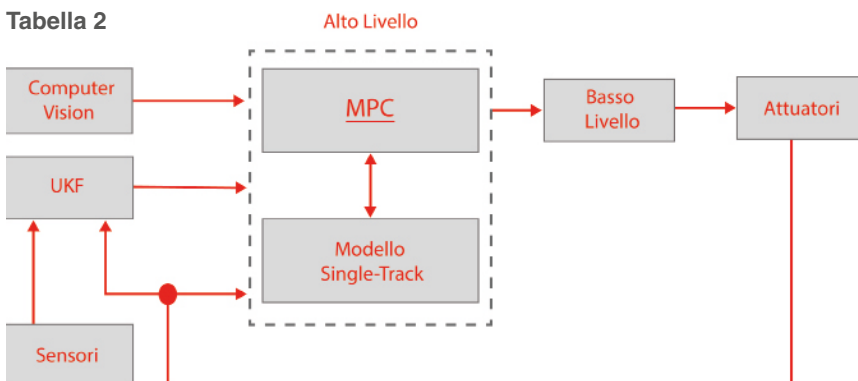
svolte attenendosi rigidamente al regolamento della Formula Student, che ha disciplinato per questi particolari veicoli sia gli aspetti meccanici sia quelli 'Driverless'. In base del regolamento 'Driverless' era necessario che, per questioni di sicurezza, oltre a quelli già inseriti, la macchina dovesse essere guidata anche da una persona fisica, ovvero un pilota designato tra i membri del Team; inoltre erano previste delle misure di sicurezza obbligatorie sia da remoto che interne alla vettura, quali il sistema RES (Remote Emergency System), utilizzato come controllo da remoto per bloccare il movimento dell'auto e il sistema EBS (Emergency Brake System) che consente di fermare l'auto in caso di mancanza

di corrente e che è stato installato direttamente sulla pedaliera. Invece, per quanto riguarda l'avviamento, la vettura si accende sia in maniera classica manuale, per la guida con pilota, sia tramite un meccanismo di ASMS, un interruttore inserito, che attiva la guida autonoma.

Considerata la complessità tecnologica della vettura, il lavoro ha visto il coordinamento e l'integrazione di tutti i membri del Team, che appartengono e rappresentano ogni area dell'ingegneria dell'Ateneo: meccanica, elettronica e informatica.

I risultati della competizione non sono stati soltanto di ordine sportivo: è infatti da sottolineare la grande valenza educativa delle attività legate alla Formula SAE che completano la tradizionale formazione teorica degli studenti universitari aumentandone notevolmente la capacità cosiddette 'soft skills', perché gli studenti si mettono a dura prova nella progettazione, nel 'problem solving' e nel teamworking, confrontandosi con il mondo lavorativo e soprattutto sviluppando le proprie abilità personali. La creazione di una squadra affiatata, l'interfaccia con le altre Università e con le personalità di giudici e aziende leader a livello mondiale, e i

Tabella 2



feedback che ne derivano, sono sicuramente stimoli utili per crescere e migliorare. Questo percorso formativo rende il Progetto Formula SAE un vero laboratorio didattico e di ricerca. Gli studenti imparano ad applicare le nozioni apprese nei corsi tradizionali, verificando di persona l'importanza degli studi che stanno affrontando ed acquisendo un'esperienza professionale di grande importanza, costruita sulle verifiche sul campo, non sempre

**“ Per attestare la sicurezza e il rispetto delle regole progettuali di tutti i Team in gara, prima delle prove dinamiche in pista, è stato necessario superare le Technical Inspections. ”**

garantite a tutti gli studenti. In questo laboratorio multidisciplinare si procede in modo metodologico partendo dall'analisi, dalla modellazione e dal calcolo per poi costruire, assemblare e infine sperimentare e verificare sul campo. Grazie a un approccio di lavoro basato sull'analisi sia teorica che numerica, e sulla sperimentazione, è possibile spingersi nel campo della ricerca tecnologica più avanzata e studiare soluzioni innovative che ver-



**Gli ultimi ritocchi al software di controllo prima della prova dinamica.**

ranno messe in pratica. Il team fiorentino, carico di queste esperienze, è già all'opera per la messa a punto di un progetto che punta sul sistema di guida autonoma più sofisticato e all'integrazione di esso in un veicolo di nuova generazione.



**I componenti del Team che nel 2018 ritenteranno l'avventura della Formula Student, sempre coadiuvati dai Dipartimenti di Ingegneria Industriale, di Ingegneria dell'Informazione e di Economia e Management dell'Università di Firenze.**