

La Facoltà d'Ingegneria di Firenze nella competizione FORMULA SAE

Daniele G. ROSTI

In questo articolo si descrive la storia della Formula SAE, competizione riservata alle Università del mondo, e la nascita del primo team presso il Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali della Facoltà d'Ingegneria dell'Università degli Studi di Firenze. Dopo aver illustrato il regolamento della competizione, viene descritta l'esperienza del team di Firenze alle ultime edizioni della gara svoltasi in Inghilterra, e le caratteristiche tecniche della vettura che ha partecipato all'ultima edizione della competizione.

Parola chiave: formula SAE.

È proprio all'interno del Gruppo di Lavoro di "Progetto e Costruzione di Macchine" del Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali dell'Università degli Studi di Firenze, che è nato l'interesse per la competizione sportiva del Formula SAE. Firenze è stata la prima Università Italiana che, nell'anno 2000, per l'iniziativa di due dottorandi del Dottorato in Progetto e Costruzione di Macchine, ha iniziato, con competenza ed entusiasmo, a raccogliere un gruppo di studenti intorno al progetto. L'idea era quella di costruire una squadra vincente che, sotto la guida tecnica del Prof. Renzo Capitani e con il coordinamento del Prof. Paolo Citti, raggiungesse il grado di competenza necessario a rispondere alle richieste dei due dottorandi collaboratori, iniziando subito ad organizzare l'attività di ricerca che, come si vedrà più avanti, ha già portato i primi successi.

La Formula SAE è una gara che mette a confronto le Università di tutto il mondo, impegnate nella progettazione, costruzione e messa a punto di una vettura di tipo Formula, per competere in apposite gare organizzate dalla SAE (Society Automotive Engineers), che si svolgono negli USA (con il nome di *Formula SAE*), in Inghilterra (*Formula Student*) ed in Australia (*Formula Australasia*). Lo scopo di questa gara è che gli studenti universitari progettino e costruiscano un'auto da corsa, come se facessero parte di un'azienda automobilistica che volesse produrre un prototipo per valutarne l'eventuale commercializzazione.

Questa gara ha avuto inizio nel 1978 negli USA, quando nacque la Mini Indy, come variante stradale della Mini Baja, competizione per veicoli fuoristrada organizzata dalla SAE. Dal 1981 la manifestazione ha preso il nome odierno di "Formula SAE" e il regolamento ha subito continue evoluzioni in modo da rendere più equilibrata e sicura la gara. Le partecipazioni sono aumentate di anno in anno fino ad obbligare a stabilire un numero massimo di iscritti, che attualmente non deve superare le centoquaranta università. Intanto la fama della competizione aveva già superato l'Oceano Atlantico e i primi team inglesi si erano avventurati negli Stati Uniti per prendere parte alla gara. In seguito a questa partecipazione inglese è nata l'idea di realizzare un appuntamento anche in Europa e nel 1998 con l'appoggio del-

l'IMechE (Institution of Mechanical Engineers) è stata organizzata la Formula Student, ossia l'appuntamento inglese della Formula SAE, che si svolge nelle Midlands in luglio, a cui segue nel mese di dicembre l'appuntamento australiano organizzato dalla sezione australiana della SAE con il nome di Formula Australasia. Pur essendo organizzate dalla stessa associazione le tre gare presentano delle differenze sostanziali: la gara statunitense, che si svolge da più di vent'anni ha una connotazione di vero e proprio esame annuale per tutti i team che vi prendono parte, infatti possono partecipare solo le auto nuove, ossia costruite nell'ultimo anno accademico ed ogni team deve occuparsi anche della logistica dato che l'organizzazione fornisce solo l'area libera di un parcheggio. La gara inglese ha uno scopo differente da quello d'oltreoceano proprio perché è possibile presentare il veicolo sia sotto forma di progetto che di veicolo completo; l'idea base è costituita dalla volontà di creare un percorso di formazione per gli studenti universitari che durante il primo anno progettano il loro primo veicolo presentando in gara il solo progetto della vettura (Classe 3), durante il secondo anno possono riprogettare l'auto ed iniziare a costruirla, partecipando alla gara con il veicolo non ancora completo (Classe 2), e finalmente il terzo anno possono completare l'auto ed effettuare i test necessari per partecipare alla gara in Classe 1.

Fig. 1 - La F2004-V2 ss in azione



L'auto da progettare e costruire deve avere caratteristiche proprie di un'auto da formula con cui costituire un campionato monomarca per gentleman driver; la macchina deve perciò avere elevate prestazioni nei termini di accelerazione, frenata e handling, deve costare poco, richiedere una manutenzione limitata ed essere affidabile. Infine l'attrattiva dell'auto deve essere incrementata tenendo in considerazione quei fattori fondamentali per il marketing, come l'estetica e l'uso di parti comuni. L'auto deve essere costruita dagli studenti; essi però, in caso di necessità, possono appoggiarsi a delle ditte esterne per la costruzione, anche se l'ingegnerizzazione deve essere completamente realizzata senza aiuti esterni.

All'interno della gara ogni progetto viene giudicato e confrontato con quello degli altri partecipanti alla competizione per definire quale sia la macchina migliore sulla base dei seguenti parametri:

Analisi statica:

1. *Analisi tecnica del progetto.*
2. *Analisi dei costi, relazione scritta.*
3. *Presentazione da parte del team.*

Analisi prestazionale:

1. *Prova di accelerazione*
2. *Skid-pad*
3. *Autocross: percorso di mezzo miglio su asfalto.*
4. *Gara di 15 miglia con cambio pilota (pit-stop).*
5. *Consumo del carburante in gara.*

In ogni prova è assegnato un punteggio, che rispecchia il giudizio della giuria nel caso delle prove statiche, e il riscontro cronometrico, in quelle dinamiche, per un totale di 1000 punti ottenibili nella miglior ipotesi. Lo scopo ultimo della competizione non è quindi quello di premiare l'auto più veloce, ma quello di premiare l'auto meglio realizzata; in particolare vengono esaminate le soluzioni adottate per i vari componenti dal punto di vista ingegneristico, valutando l'effettivo impegno profuso dagli studenti e, nel caso di team non esordienti, verificando se l'auto sia stata sufficientemente sviluppata rispetto a quella dell'anno precedente.

Il progetto del veicolo deve sottostare ad un preciso regolamento redatto dalla SAE, che definisce i pochi punti fermi che limitano la fantasia dei giovani progettisti. L'auto deve avere un passo minimo di 1525mm, essere dotata di quattro ruote non allineate con un diametro dei cerchi superiore ad otto pollici. Le sospensioni del veicolo devono garantire un'escursione minima di 25mm sia in estensione che in compressione, mentre deve essere presente un impianto frenante che sia in grado di bloccare le quattro ruote contemporaneamente ed in caso di malfunzionamento deve essere presente un sistema di sicurezza che spenga il motore. La sicurezza passiva è un punto focale sia per quanto riguarda l'impianto elettrico, sia per l'aspetto strutturale che deve sottostare a precise norme per garantire la sicurezza del pilota e del pubblico.

È questo percorso formativo che rende il Progetto Formula SAE un vero Laboratorio Didattico e di Ricerca che consente agli studenti di imparare ad applicare le nozioni apprese nei corsi tradizionali, verificando di persona l'importanza degli studi che stanno affrontando, acquisendo un'esperienza professionale di fenomenale importanza che fornisce quelle verifiche sul campo che spesso l'Università non riesce a garantire a tutti gli studenti. L'approccio richiesto da un progetto così impegnativo risulta utile non solo per coloro che intraprendono una carriera professionale nel settore automobilistico, ma anche per coloro che si impegneranno in altri settori, in quanto la capacità di risolvere i problemi, come quella di lavorare in gruppo e di rispettare le scadenze, è una caratteristica che è comune a tutte le realtà industriali. Il mondo del lavoro ha bisogno di laureati con una mentalità analitica, ma anche applicativa e veloce nel risolvere i problemi; le competizioni sono l'ambiente ideale per sviluppare queste qualità.

La partecipazione del Team dell'Università degli Studi di Firenze all'edizione **2002** della Formula Student è avvenuta in Classe 3 (essendo la prima partecipazione), ma si è rivelata comunque molto istruttiva. Infatti la presentazione del solo progetto, ha costretto il Team a preparare una lunga serie di relazioni, necessarie per illustrare, durante i colloqui con i giudici, le analisi effettuate. Il lavoro



Fig. 2 - Una delle fasi di assemblaggio della vettura, effettuate dal team dell'Università di Firenze, dopo aver completato il telaio.

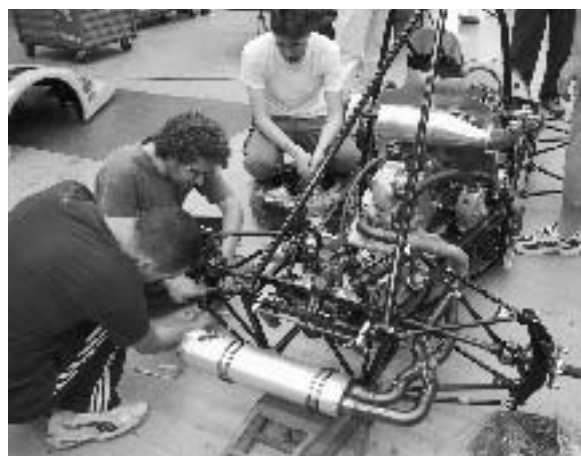
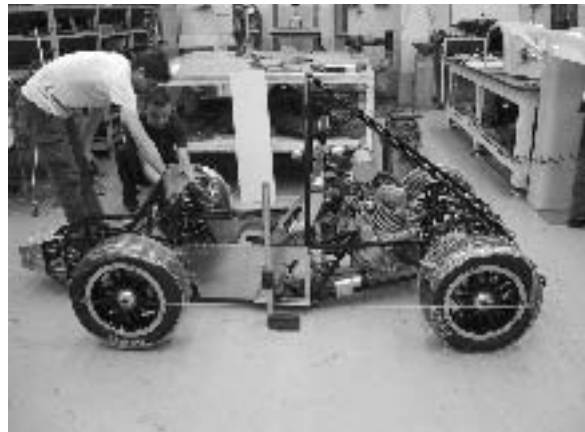


Fig. 3 - L'assemblaggio degli ultimi componenti della vettura, ha impegnato il team di studenti e dottorandi, nell'ottica di ottenere la massima affidabilità.



Fig. 4 - L'assemblaggio definitivo è stato realizzato su un banco di riscontro presso la Tampolli Engineering, che supporta l'attività del team dell'Università di Firenze.

Fig. 5 - La preparazione dell'auto per la gara ha richiesto la realizzazione di precise procedure di messa a punto, in particolare per l'assetto.



ha dato degli ottimi frutti, infatti l'Università di Firenze si è aggiudicata tutte le competizioni alle quali ha preso parte; in particolare ha vinto il primo premio per il miglior progetto di Classe 3 e il primo premio assoluto per la miglior presentazione, ottenendo il massimo dei punti e superando tutte le università presenti.

La partecipazione all'edizione **2003** della Formula Student ha visto la vettura dell'Università di Firenze confrontarsi con altre 50 Università in pista: nel corso dell'inverno 2002-2003, infatti, il Team dell'Università di Firenze ha realizzato la propria auto sulla base del progetto vincente 2002, a cui sono state apportate modifiche migliorative. La vettura è risultata molto apprezzata dai giudici inglesi e ha spiccato per alcune caratteristiche che la rendono unica nella categoria, come il motore bicilindrico Ducati e il monoammortizzatore pull rod anteriore. L'ottima prestazione fornita sia nelle prove statiche che in quelle dinamiche è stata però interrotta dal guasto di uno dei componenti più semplici della vettura (il terminale di un cavetto metallico), che a due curve dall'arrivo della gara più importante ha impedito il raggiungimento di un probabile terzo posto.

Nonostante questo sfortunato inconveniente, il Team dell'Università di Firenze ha ben impressionato, risultando la migliore squadra debuttante, ottenendo il 1° posto tra le italiane, il 5° tra le europee, e il 15° assoluto.

Il **2004** ha visto il Team dell'Università di Firenze prepararsi alla nuova partecipazione alla Formula Student, che si è svolta dal 9 all'11 luglio in

Inghilterra, con un'auto rinnovata in tutti i suoi aspetti, sia sospensivi, che telaistici, che propulsivi. I componenti modificati o realizzati ex-novo sono stati più del 90% del totale, evidenziando l'importante sforzo progettuale profuso dai componenti del team per migliorare una vettura già competitiva nella Formula Student 2003.

Anche questa edizione si è conclusa con un bilancio fortemente positivo, che si può riassumere nel 1° posto di classe nella prova di Endurance, nel 2° posto assoluto di classe, nel 4° posto finale tra tutte le circa 80 Università partecipanti, con inoltre il 1° posto per il miglior design di classe, ed il 3° posto nella specifica classifica dell'utilizzo dei sistemi CAD per la progettazione della vettura.

Tutto ciò ha ulteriormente incrementato l'entusiasmo intorno all'attività Formula SAE in Italia, portando all'organizzazione della prima esibizione Italiana di queste vetture, in un evento appositamente organizzato, il 31 Ottobre 2004, dall'Università di Firenze presso l'Autodromo dell'Umbria, dove si sono esibite tutte le Università Italiane che si sono già cimentate in questo splendido progetto formativo.

L'auto dell'Università di Firenze che ha partecipato alle manifestazioni del 2004 era caratterizzata da soluzioni tecniche particolari, e spesso uniche nel panorama della Formula SAE, che l'hanno fatta prendere ad esempio da varie Università straniere.

Analizzando nel dettaglio la vettura si possono evidenziarne le caratteristiche principali e le linee

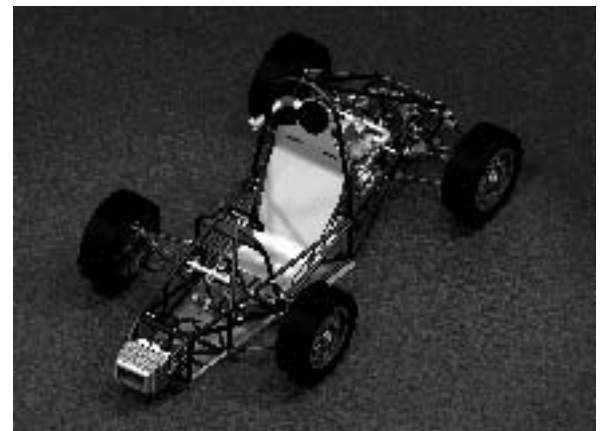
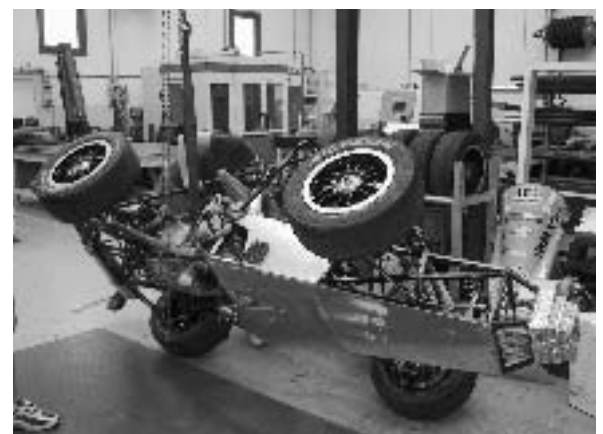


Fig. 6 - Vista del prototipo senza la calandra.

Fig. 7 - La verifica di ribaltamento effettuata in officina, ha preceduto la prova brillantemente superata durante la gara inglese.



guida seguite nella progettazione. Un'attenta analisi dei tracciati di gara ha portato alla scelta del passo della F2004-V2ss, in modo che fosse il minore possibile, sempre nel rispetto del regolamento. Le sospensioni sono a triangoli sovrapposti, sia all'anteriore che al posteriore, ma le prime si caratterizzano per un cinematismo di comando non usuale, che consta in un mono ammortizzatore, con molla coassiale, montato sul fondo vettura e azionato da due tiranti, che è coadiuvato nel controllo del rollio da due gruppi di molle Belleville montate in serie-parallelo. Le sospensioni posteriori sono invece attuate da dei puntoni, che tramite dei rocker, agiscono sugli ammortizzatori, ancora una volta con molle coassiali, il rollio è controllato con l'ausilio di una barra di torsione ad U, azionata sempre dai rocker.

La necessità di riduzione della massa totale, che non ha un limite inferiore imposto dal regolamento, ha suggerito l'adozione di ruote OZ in Magnesio, che hanno consentito l'utilizzo dei più performanti pneumatici disponibili in Europa, Avon 6.2-20x13 con mescola super-soft.

Questa scelta ha portato al progetto di nuovi gruppi ruota, con nuovi mozzi e montanti, utilizzando dei cuscinetti a doppia corona di sfere, molto affidabili e compatti. Lo studio di questi nuovi componenti è stato effettuato con approfondite analisi agli elementi finiti, supportate da una definizione dei carichi che è stata definita in base alle prove sperimentali effettuate in pista nel corso dell'anno precedente. È stato altresì possibile montare un impianto frenante dotato di pinze radiali e dischi flottanti, specificamente realizzati per il team dell'Università di Firenze da Tarox.

Gli ammortizzatori sono stati realizzati da Marzocchi, e sono usualmente utilizzati su mountain bike, sono perciò stati modificati nell'idraulica per soddisfare le necessità derivanti dall'impiego su un autoveicolo. La scatola sterzo è stata fornita da Tatuus, ed è lo stesso componente utilizzato sulle scorse versioni della Formula Renault 3000V6. È stata quindi effettuata un'analisi multi-body, utilizzando MSC/Adams Motorsport, per ottenere il comportamento desiderato delle sospensioni, sia dal punto di vista cinematica che dinamico. La collaborazione con il team di sviluppo di MSC ha consentito di raggiungere degli ottimi risultati nella simulazione del comportamento del veicolo, arrivando a simularne il comportamento lungo percorsi virtuali rappresentanti dei reali circuiti di gara.

Un'approfondita analisi FEM è stata condotta sul telaio della F2004-V2ss, con l'obiettivo di incrementarne il valore di rigidità, e contemporaneamente di ridurne la massa.

Il propulsore della vettura dell'Università di Firenze è un unicum nella panoramica della competizioni Formula SAE: è questo l'unico motore italiano, ed in particolare l'unico con distribuzione desmodromica, che mai abbia partecipato ad una gara organizzata dalla SAE, esso è infatti prodotto da Ducati, che ha sponsorizzato il team dell'Università di Firenze, fornendo il propulsore ed il materiale di sviluppo. Il supporto fornito dal Sig. Mengoli, in qualità di responsabile generale del-



Fig. 8 - Presentazione della F2004-V2ss ai responsabili dell'Ufficio Tecnico Ducati, dopo il successo della gara Inglese del 2004.



Fig. 9 - I componenti del team che ha partecipato all'attività Formula SAE 2004, schierati in occasione dell'esibizione Italiana, con un rappresentante di GKN, che sponsorizza l'attività.

l'ufficio tecnico di Ducati Motor Holding ha consentito di effettuare le modifiche necessarie per allineare il propulsore alle specifiche richieste del regolamento Formula SAE.

Il risultato di questa progettazione è stato un veicolo perfettamente equilibrato in termini di distribuzione di massa, che ha così facilitato la messa a punto in pista. La progettazione della F2004-V2ss si è avvalsa degli strumenti più avanzati disponibili in Università, dai CAD 3D, ai FEM impliciti ed espliciti, ai già citati software multi-body, fino ad utilizzare software particolari che hanno molto facilitato l'analisi di Life Cycle Assessment effettuata su tutti i componenti dell'auto. Quest'analisi è stata applicata per la prima volta ad un veicolo Formula SAE, e l'imponente lavoro effettuato ha consentito di analizzare l'impatto ambientale della vettura e di ogni suo componente, dalla produzione del materiale fino alla sua dismissione, utilizzando i dati provenienti da questa analisi già durante la progettazione dei singoli componenti.



Fig. 10 - La F2004-V2ss in azione sul circuito di Rioveggio, nel corso di una serie di test di messa a punto.

Daniele ROSTI si è laureato in Ingegneria Meccanica presso l'Università degli Studi di Firenze nel 1998, con una Tesi dal titolo "Analisi sperimentale di un cinematismo di comando meccanico per una frizione automobilistica" ed ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Progetto e Costruzione di Macchine nel 2003, con una tesi dal titolo "Analisi del comportamento dinamico di un veicolo a due ruote". È attualmente Professore a Contratto presso il Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali della Facoltà d'Ingegneria di Firenze. I campi di ricerca sono correlati alla dinamica dei veicoli a due e quattro ruote, con particolare attenzione all'attività Formula SAE. È membro delle seguenti associazioni: ATA, SAE, ASME, IMeche.

Nell'autunno 2004 è iniziato il progetto della vettura che prenderà parte alle gare Formula SAE del 2005. È un veicolo totalmente nuovo, che il team ha riprogettato completamente da zero, consentendo agli studenti coinvolti di affrontare anche questa nuova stimolante esperienza, che si concluderà con la realizzazione dell'auto e la sua partecipazione alle gare internazionali.

In questo laboratorio multidisciplinare, si procede in modo metodologico partendo dall'analisi, dalla modellazione e dal calcolo per poi costruire ed assemblare ed infine sperimentare e verificare sul campo. Questo approccio di lavoro di analisi e di sintesi è a buon diritto ritenuto molto importante per la formazione dei nostri giovani allievi.

L'entusiasmo dei ragazzi del team dell'Università di Firenze per la partecipazione a questa competizione riveste un motivo di orgoglio per tutti gli appartenenti all'Ateneo Fiorentino, poiché in questa palestra di idee, di conoscenze e di competenze scientifiche e tecnologiche, vengono messi a frutto i risultati di quella formazione che la scuola d'Ingegneria dell'Università di Firenze ha saputo dare loro.