

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale***  
**«IL TITANIO NELLA FORMULA 1:  
HALO E SICUREZZA DEI PILOTI »**

Tutor universitario: Prof. Bertani Roberta

Laureando: Baruzzo Simone

Padova, 15/07/2022



La seconda guerra mondiale è appena terminata, la voglia di rinascita e di cercare nuove sfide da affrontare si è fatta sempre più dirompente.

Nel 1947 la CSI (Commissione Sportiva Internazionale) formalizzò la creazione di un Campionato del Mondo Piloti di Formula 1, che trovò la concreta realizzazione nel 1949 con la scelta delle gare che nel 1950 avrebbero dato inizio alla prima edizione.

Il regolamento permetteva la partecipazione solo alle monoposto che avevano una limitazione di cilindrata pari a 1500 cm<sup>3</sup>, se erano dotate di un compressore, o di 4500 cm<sup>3</sup> se invece ne erano prive .

Con il passare del tempo le auto diventavano sempre più veloci ed elaborate ma la poca sicurezza rendeva molto pericoloso questo sport a tal punto che ci furono diversi morti negli anni a venire. Infatti, a causa l'elevato numero di incidenti mortali registrati nella seconda metà degli anni 1950, si consigliò di ridurre la potenza delle auto finché, nel 1961, la cilindrata delle Formula 1 venne fissata a soli 1500 cm<sup>3</sup>.



Il 6 ottobre del 1973, l'astro nascente **Francois Cevert** morì durante le qualifiche del gran premio degli Stati Uniti a Watkins Glen. In questo circuito c'è una parte che è molto pericolosa: una "esse" dove le barriere sembrano insensatamente vicine, la classica curva in cui se il pilota mantiene la traiettoria ideale può far abbassare di molto il time lap, ma allo stesso tempo se questo non è impostato correttamente potrebbe essere fatale. Per il francese purtroppo si verificò la seconda situazione. La Tyrrell numero 6 di Cevert venne praticamente polverizzata: ha urtato il guard rail sulla destra rimbalzando sull'altro lato rovesciandosi. Una ruota colpì François e il metallo della barriera ha poi infierito sul suo corpo uccidendolo.

Il suo amico, nonché compagno di scuderia, **Jackie Stewart**, segnato dall'accaduto, si ritirò e decise di intraprendere un percorso per rendere più sicuro il mondo del motor sport. Lo scozzese poi riferirà: "*Sembrava di essere nel luogo di un disastro aereo. L'hanno lasciato nell'auto perché era chiaramente morto*".

Jackie Stewart iniziò una campagna per migliorare i servizi di emergenza e per costruire delle barriere di sicurezza ai lati delle piste.

Insistette perché si rendesse obbligatorio l'uso del casco integrale e delle cinture di sicurezza, dispositivi poi divenuti obbligatori.

Allo stesso tempo pressava gli organizzatori dei gran premi perché modernizzassero i loro circuiti e invitava i suoi colleghi a boicottare le gare sui circuiti più pericolosi come Spa e il Nürburgring, almeno finché non fossero stati modernizzati e resi più sicuri.



Nel 2014 a Suzuka in Giappone, il pilota francese Jules Bianchi impatta contro un trattore a bordo pista: morirà dopo 9 mesi di coma.

Da qui in avanti ci fu la rivoluzione più importante degli ultimi anni: **l'introduzione dell'Halo**.

Il sistema Halo si basa su due grandi montanti che partono dalla parte posteriore dell'abitacolo (sulle spalle del pilota) e si uniscono sul fronte, appena sopra il campo di visione. Al centro è presente un altro supporto per unirsi al "cockpit" e rinforzare la parte centrale.

**L'Halo è realizzato in titanio di grado 5**, ampiamente utilizzato nell'industria aerospaziale ed è noto per la sua elevata resistenza e rigidità rispetto al suo peso relativamente basso.



Prima di lavorarlo e dare la forma al titanio, il metallo deve essere trattato termicamente per essere ottimizzato per il compito. Il passaggio successivo consiste nel pre-forare a macchina e a pistola i tubi che verranno saldati insieme.

**L'Halo è costituito da cinque parti diverse :**

- \* **il semianello in alto che è composto da due quarti del cerchio;**
- \* **i due pezzi terminali che si attaccano alla parte posteriore dell'auto**
- \* **il montante centrale davanti al guidatore.**

Il processo di saldatura viene eseguito in camera chiusa per evitare che eventuali corpi estranei interferiscano con il materiale.



L'intero dispositivo viene quindi sottoposto a un altro trattamento termico per un ulteriore rafforzamento prima di essere inviato per il test. Ogni dispositivo è controllato in maniera maniacale sotto tutti i punti di vista e viene sottoposto a test non distruttivi, inclusi raggi X e test di fessurazione. Una volta completato, l'Halo viene pulito manualmente per creare una superficie abrasiva che renda più facile per i team attaccare qualsiasi parte aerodinamica consentita dalla FIA.

***L'Halo deve resistere a 125 kN di forza dall'alto e a forze laterali di 125 kN.***

PUNTO DI FUSIONE	1 941 K (1 668 °C)
PUNTO DI EBOLLIZIONE	3 560 K (3 290 °C)
VOLUME MOLARE	10,64×10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /mol

Tra i metalli è al quarto posto per abbondanza sulla crosta terrestre con una percentuale dello 0,6%.

*Numero atomico 22 e peso atomico 47,90.*

**Ti** è un metallo di transizione leggero, forte, brillante e resistente alla corrosione con un colore metallico bianco-argenteo.

Forma un rivestimento di ossido per passivazione che protegge dall'ossidazione quando esposto a temperature elevate in aria mentre a temperatura ambiente resiste all'appannaggio.

Stato principale di ossidazione 4+, anche se Ti è noto anche negli stati 3+ e 2+ , ma risulta essere meno stabile.

**Ti** è forte quanto l'acciaio ma il 45% più leggero e pesa il 60% in più dell'alluminio con resistenza doppia.

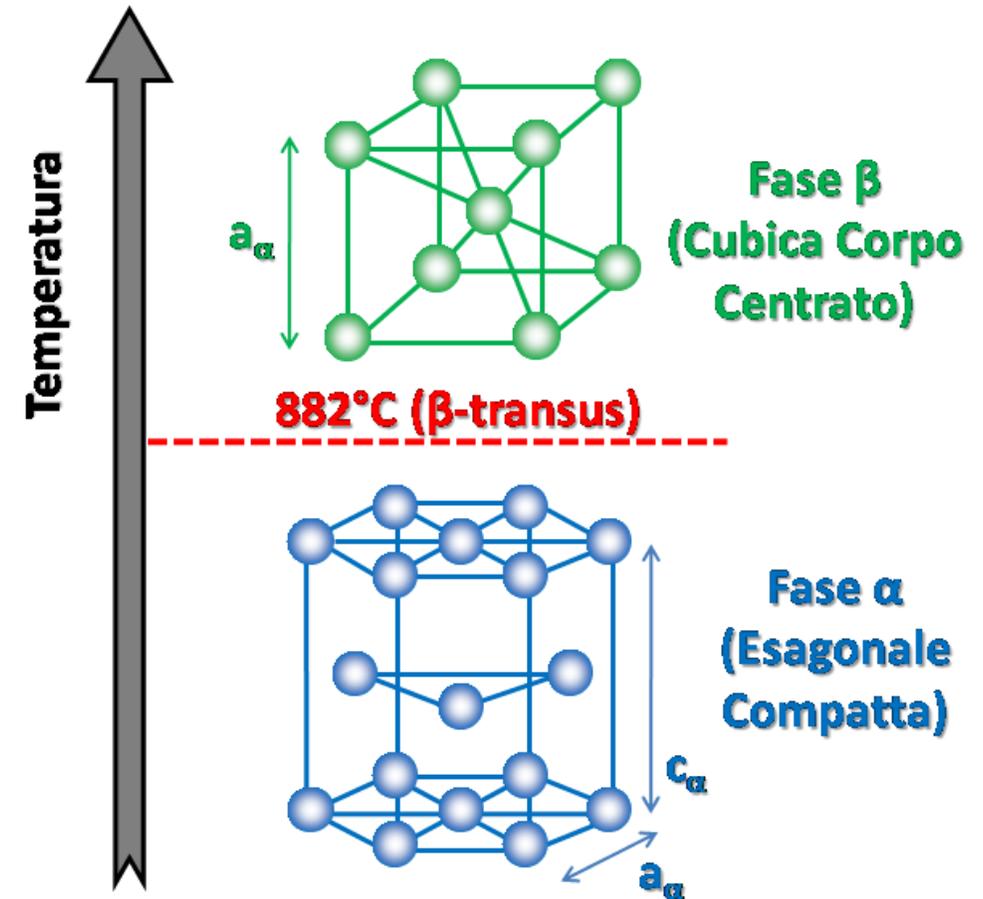


A partire dagli Anni Cinquanta, grazie ad un processo di estrazione efficace, si sono sviluppate due categorie di materie prime:

- **titanio commercialmente puro** (Ti>99%), indicato con la sigla ASTM CP;
- **leghe di titanio**, con una percentuale di titanio variabile da 80 a 98%, unito ad alluminio, vanadio, stagno, cromo o altri elementi di lega.

Lo stato metallico del titanio si presenta in due diverse fasi:

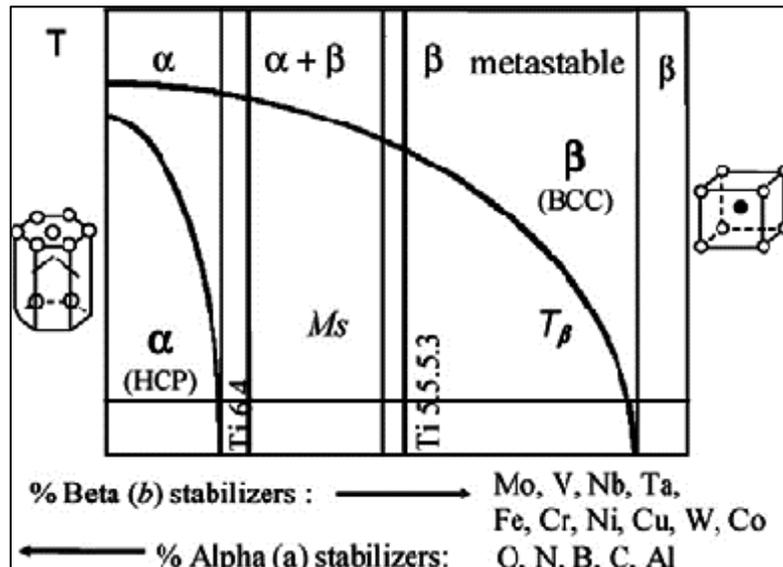
- fase  $\alpha$  (alpha), con reticolo esagonale (stabile fino a 882 °C),
- fase  $\beta$  (beta), con reticolo cubico a corpo centrato, stabile a temperatura > 882 °C.





Attraverso l'aggiunta di specifici elementi di lega è possibile ampliare il campo di stabilità delle fasi di Ti.

Si realizzano, infatti, leghe di titanio a struttura  $\alpha$  (alpha), leghe a struttura mista  $\alpha$ - $\beta$  (alpha-beta), e leghe a struttura  $\beta$  (beta), con diverse e migliorate caratteristiche meccaniche, per le diverse lavorazioni.



- **Struttura  $\alpha$ :** hanno una resistenza da bassa a media, una buona tenacità ad intaglio, una duttilità ragionevolmente buona e hanno proprietà eccellenti a temperature criogeniche.
- **Struttura mista  $\alpha$ - $\beta$ :** hanno un'elevata resistenza alla trazione, un'elevata resistenza alla fatica, un'elevata resistenza alla corrosione, una buona formabilità a caldo e un'elevata resistenza allo scorrimento
- **Struttura  $\beta$ :** rapporto resistenza/peso eccezionalmente elevato, super elasticità e basso modulo elastico, deformazioni elastiche maggiori e bassa tossicità

Le caratteristiche principali sono:

- 1) **la bassa conducibilità termica del materiale**, per cui il calore generato dall'azione di taglio non viene dissipato velocemente per conduzione all'interno del pezzo in lavorazione e si concentra sul bordo di taglio e sulla faccia dell'utensile. Le alte temperature raggiunte possono portare a rinvenimento e relativa smussatura dei taglienti con conseguente ulteriore innalzamento della temperatura e ulteriore accorciamento della durata dell'utensile;
- 2) **la grande reattività chimica con quasi tutti i materiali**, soprattutto ad elevata temperatura, che può portare ad abrasioni, microsaldature e spalmature con gli utensili da taglio;
- 3) **il modulo elastico relativamente basso**, può dare inizialmente qualche difficoltà di lavorazione. Sotto la pressione dell'utensile, il materiale elastico tende ad allontanarsi dalla zona di taglio soprattutto nelle passate leggere. Le parti più sottili si deflettono ed il bordo tagliente tende a strisciare sul pezzo provocando vibrazioni ed inducendo una ulteriore produzione di calore;
- 4) **bassa densità**, quindi leggerezza ( $4,5 \text{ g/cm}^3$  per la forma  $\alpha$  (alpha), a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , contro, ad esempio,  $2,7 \text{ g/cm}^3$  dell'alluminio, oppure  $8,96 \text{ g/cm}^3$  del rame);
- 5) **elevata resistenza alla corrosione, all'abrasione, all'impatto, al taglio, ai raggi UV;**
- 6) **lavorabilità e saldabilità di buon livello;**
- 7) **non inquina e non è tossico;**
- 8) **riciclabilità;**

Comunemente indicato come Ti-6AL-4V (o Ti 6-4) è una lega a due fasi  $\alpha+\beta$ , con l'alluminio come stabilizzatore alfa e il vanadio come stabilizzatore beta. La sua composizione chimica è 90% di titanio, 6% di alluminio, 4% di vanadio. L'aggiunta di alluminio e vanadio aumenta la durezza del materiale nella matrice della lega, migliorandone le proprietà fisiche e meccaniche.

Possiede:

- ***eccellente rapporto resistenza / peso;***
- ***resistenza alla temperatura ambiente superiore rispetto ai gradi 1 e 2;***
- ***buona resistenza allo scorrimento fino a 300 ° C;***
- ***eccellente resistenza alla corrosione nella maggior parte degli ambienti naturali e industriali;***

<b>Densità</b>	4.42 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto di Fusione</b>	1650°C
<b>Coefficiente di Espansione</b>	9.0 $\mu\text{m/m } ^\circ\text{C}$ (20 – 100°C)
<b>Modulo di Rigidità</b>	40 – 44 kN/mm <sup>2</sup>
<b>Modulo di Elasticità</b>	105 – 120 kN/mm <sup>2</sup>

Alcune caratteristiche sono:

- **elevata resistenza alla trazione:** la resistenza del Ti 6Al-4V si avvicina a quella dell'acciaio inossidabile, richiedendo forze di taglio elevate;
- **resistenza alla corrosione:** produce istantaneamente uno strato di ossido ceramico sulla sua superficie, che lo protegge dalle carogne in tutti gli ambienti tranne quelli più severi;
- **bassa conducibilità termica:** il calore non si trasferisce facilmente nel truciolo, ma fluisce nell'utensile da taglio, il che rende il tagliente molto caldo durante il processo di lavorazione;
- **elevato modulo di elasticità:** per una data forza, si defletterà più dell'acciaio, il che si traduce in una maggiore probabilità di vibrazioni e scarsa formazione di trucioli;
- **alta qualità e resistenza:** ha trovato applicazione in quasi tutti i settori, dalla medicina allo spazio.

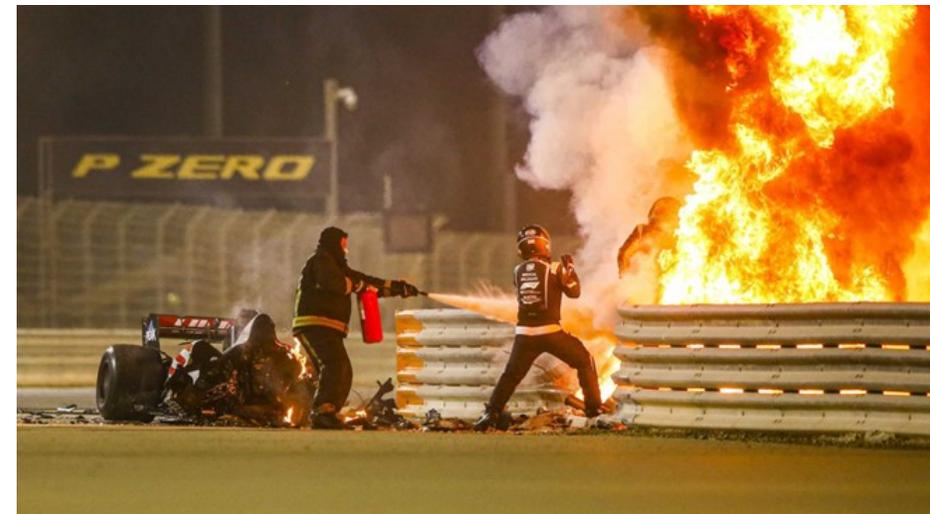
**Questa lega è uno dei metalli migliori e più pratici utilizzati in celle frigorifere con temperature relativamente basse. Tutti gli oggetti realizzati con questo materiale sono considerate le più affidabili.**

Le lavorazioni più eseguite sono:

- **trattamento termico:** è ampiamente trattata termicamente per migliorarne ulteriormente le proprietà. È tipicamente ricotto al mulino, trattato in soluzione o stagionato;
- **lavorazione a caldo:** viene solitamente lavorato a caldo per produrre la microstruttura desiderata attraverso il processo di ricristallizzazione. Ciò mantiene la resistenza allo snervamento e la durezza delle leghe basse e la sua duttilità elevata. Nel grado 5 ciò avviene a una temperatura compresa tra 870°C e 980°C circa, il che interrompe la crescita di una fase alfa eccessiva;
- **lavorazione a freddo:** non è facilmente lavorabile a freddo a causa del suo basso modulo elastico, il che significa che tende a riprendere la sua forma precedente. Il grado 5 può essere trafilato ed estruso a freddo, sebbene questo sia generalmente limitato agli impianti di lavorazione industriale più piccoli su gradi di titanio commercialmente puri;
- **saldabilità:** è facilmente saldabile allo stato ricotto, o allo stato in soluzione e parzialmente invecchiato, con l'invecchiamento completato durante il trattamento termico post saldatura. Devono essere prese precauzioni per prevenire la contaminazione da ossigeno, azoto e idrogeno. La saldatura per fusione può essere eseguita in camere riempite di gas inerte o utilizzando una saldatura a gas inerte del metallo fuso e delle zone riscaldate adiacenti utilizzando uno schermo di trascinamento. È possibile eseguire saldature a punti, cordoni e flash senza ricorrere ad atmosfere protettive;

L'introduzione dell'Halo risulta fondamentale in due casi recenti. Il primo è l'incidente accaduto in Bahrain del 29 novembre 2020. Il pilota Romain Grosjean perde il controllo della propria vettura e va a sbattere contro le barriere. L'impatto è violentissimo ma l'Halo ripara Grosjean dall'impatto contro la barriera metallica (riuscendo a non fargli mozzare la testa), che si è aperta e dentro cui si è infilato l'abitacolo della Haas. A causa dell'incidente è divampato un forte incendio ma, grazie al fatto che l'Halo gli ha salvato la vita, il francese, rimasto vigile, ha potuto reagire alla situazione ed è riuscito a slacciarsi le cinture e fuggire alle fiamme dopo 28 secondi.

Queste sono le parole del pilota dopo l'incidente: *«Più che un miracolo si è trattato di un concorso di circostanze che sono andate nella tutte nella giusta direzione. Senza l'Halo di sicuro non sarei qui»*



Il secondo episodio è avvenuto il 12 settembre 2021 a Monza in Italia e i piloti coinvolti sono Lewis Hamilton e Max Verstappen i quali si stanno giocando il campionato. Alla fine del rettilineo principale si trovano appaiati, Hamilton tiene l'interno, Verstappen rimane all'esterno e nessuno dei due vuole alzare il piede dall'acceleratore. Il risultato è che Verstappen tocca il cordolo della curva, la macchina si alza e cade letteralmente sopra la vettura del rivale, la ruota posteriore destra finisce con il toccare il casco di Hamilton per poi appoggiare il muso sulla sabbia e il retrotreno sulla gomma anteriore sinistra della Mercedes.

Guardano le immagini on board ci si rende conto di come l'Halo abbia salvato la vita al pilota inglese.

Dunque si può tranquillamente affermare che nonostante le auto di Formula 1 negli ultimi anni siano diventate sempre più veloci, più aerodinamiche e più spettacolari la miglior evoluzione che sia stata fatta è stata inserire l'Halo, il salva vita degli eroi che vogliono superare ogni limite della velocità.



[Hamweendo Agripa and Ionel Botef «Modern Production Methods For Titanium Alloys: A Review»](#)

<https://www.lenntech.it/periodica/elementi/ti.htm>

<https://www.fia.com/news/how-make-f1-halo>

<https://www.guerinsportivo.it/news/formula1/2021/11/01-4869814/l-incidente-di-grosjean-in-bahrain-e-la-visita-di-vettel-in-ospedale>

<https://www.guerinsportivo.it/news/formula1/2021/09/20-4717747/l-importanza-dell-halo-in-formula-1>

<https://www.alloywire.it/products/titanium-grade-5-6al4v/>

<https://parts-badger.com/properties-of-grade-5-titanium/>

<https://kyocera-sgstool.co.uk/titanium-resources/titanium-information-everything-you-need-to-know/ti-6al-4v-grade-5-titanium-alloy-data-sheet/>

<http://www.iuav.it/SISTEMA-DE/Archivio-d/approfondi/materiali-/TITANIO.pdf>

<https://motori.fanpage.it/lauda-l-halo-e-un-errore-serve-solo-a-distruggere-la-formula-1/>

<https://www.istockphoto.com/it/immagine/titanio>

<https://www.veca.it/blog/dallhalo-alla-scocca-ce-un-made-in-italy-che-protegge-i-piloti>

<https://www.fuoritraiettoria.com/4-ruote/su-pista/formula-1/incidente-grosjean-fia-indagine-bahrain/>

<https://mowmag.com/sport/-video-la-nuova-ricostruzione-dell-incidente-di-grosjean-ecco-come-l-halo-gli-ha-salvato-la-vita>

<https://www.formula1.it/news/5602/1/francois-cevert-la-brevita-del-vento>

<https://www.automobilismodepoca.it/jackie-stewart-una-vita-di-corse-23413>

<https://sport660.wordpress.com/2017/02/25/francois-cevert-il-tragico-destino-di-un-principe/>

<https://www.tag.it/leghe-di-titanio-introduzione-caratteristiche-applicazioni/>