

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Chimica e dei Materiali

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Tessile

Tesi di Laurea Magistrale

**Progettazione di una tuta da pilota
come DPI**



Relatori

Prof.ssa Ada Ferri (DISAT)

Angelo Bardascino (Docente esterno)

Candidata

Chiara Milan

Dicembre 2017

SOMMARIO

ELENCO DELLE FIGURE	iii
ELENCO DELLE TABELLE	IV
o. INTRODUZIONE	V
0.1 ARGOMENTO E SCOPO.....	V
0.2 ORGANIZZAZIONE DELLA TESI.....	V
0.3 PREMESSE	VI
1. STRATEGIA DI SVILUPPO DI UN PRODOTTO	1
1.1 CHE COS'È UN PRODOTTO	1
1.2 FASI DI SVILUPPO DI UN PRODOTTO	2
1.2.1 L'analisi.....	3
1.2.2 Design e sviluppo preliminare	4
1.2.3 Sviluppo del concept e analisi di fattibilità	4
1.2.4 Sviluppo tecnico e progettazione.....	5
1.2.5 Produzione e commercializzazione.....	6
2. CONTESTO GENERALE	7
2.1 IL MOTORSPORT E I SUOI PERICOLI	7
2.1.1 Principali cause di morte e misure di sicurezza in caso di incendio	7
2.2 APPARATO NORMATIVO E REGOLAMENTARE.....	9
2.2.1 La FIA	9
2.2.1.1 FIA Standard 8856:2000.....	10
2.2.2 Fondazione SFI	11
2.2.2.1 SFI Specification Program 3.2	11
2.2.3 Direttiva 89/686/CEE e la marcatura CE.....	12
2.3 PROFILO PSICOFISIOLOGICO DEL PILOTA DURANTE LA GARA.....	13
3. SVILUPPO DI UNA TUTA RACING.....	17
3.1 COS'È UNA TUTA RACING.....	17
3.2 ANALISI ESIGENZIALE-PRESTAZIONALE	18
3.2.1 Protezione da fuoco e trasmissione di calore in caso di incendio.....	20

3.2.1.1	Conformità allo standard FIA 8856-2000.....	21
	DESIGN.....	21
	PRESTAZIONI.....	27
3.2.1.2	Conformità al programma SFI Specification 3.2	49
	DESIGN.....	49
	PRESTAZIONI.....	51
3.2.2	Resistenza e durabilità.....	57
3.2.3	Comfort.....	59
3.2.4	Estetica.....	62
3.3	MARCATURA CE DI UNA TUTA RACING.....	64
3.3.1	Sintesi procedura.....	64
3.3.2	Applicazione dei requisiti essenziali di salute e sicurezza	65
3.3.2.1	Analisi dei rischi	66
4.	CONCLUSIONI	67
5.	RINGRAZIAMENTI.....	68
	APPENDICE.....	I
	BIBLIOGRAFIA.....	1

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 3-1: Tavola di progettazione pe una tuta Racing	21
Figura 3-2: Posizione operativa nell'esecuzione del test (ISO 15025:2003, pag.5 Fig. 3 a)	29
Figura 3-3: Telaio di supporto (ISO 15025:2003, Fig. 1).....	30
Figura 3-4: Rapporto di prova test di propagazione limitata alla fiamma	30
Figura 3-5: Sintesi risultati test di propagazione limitata alla fiamma nel rapporto di prova per un materiale di esempio.....	31
Figura 3-6: Meta-aramide: formula di struttura	33
Figura 3-7: Para-aramide: formula di struttura.....	33
Figura 3-8: Schema di rigonfiamento delle fibre durante il contatto con una fonte di calore (Technical Guide for NOMEX® Brand Fiber, pag 21 fig. 3.1).....	34
Figura 3-9: Ispessimento del tessuto in Nomex (Technical Guide for NOMEX® Brand Fiber, pag 22 fig. 3.2)	34
Figura 3-10: Rappresentazione, sezione e messa in carta tessuto tela 1:1	37
Figura 3-11: Rappresentazione, sezione e messa in carta saia 1:2 (dritto di trama spina sinistra)	37
Figura 3-12: Esempi di armatura	38
Figura 3-13: Schema costruzione maglieria in trama (.....)	38
Figura 3-14: Schema costruzione interlock (Handbook of technical Textile, Fig. 5.14 Weft-knitted structures E)	39
Figura 3-15: Schema costruzione maglieria in catena	39
Figura 3-16: Struttura per l'esecuzione del test di valutazione della trasmissione di calore (ISO 9151:1995, pag. 4, fig.5).....	42
Figura 3-17: Rapporto di prova di valutazione della trasmissione di calore	43
Figura 3-18: Sintesi risultati test di trasmissione di calore nel rapporto di prova per assemblaggio di esempio	43
Figura 3-19: Conducibilità termica delle principali fibre	44
Figura 3-20- Struttura di un tessuto non tessuto.....	45
Figura 3-21: Rappresentazione del test di resistenza meccanica degli assemblaggi post esposizione alla fiamma (FIA 8856-2000, pag.20, Appendice IIA)	46
Figura 3-22: Apparecchiatura per valutazione del TPP (NISTIR 6993, pag. 2, fig. 1)	52
Figura 3-23: Curve di intersezione per l'ottenimento del t_b di ogni provino testato di un assemblaggio di esempio.....	53
Figura 3-24: Risultati di test di resistenza al restringimento termico di un assemblaggio multistrato di esempio	56

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 3-1: Sistema di esigenza di una tuta Racing	19
Tabella 3-2: Esigenze e requisiti di design in conformità allo standard FIA 8856-2000	21
Tabella 3-3: Esigenze e requisiti prestazionali in conformità allo standard FIA 8856-2000	27
Tabella 3-4: Confronto HTI ₂₄ assemblaggi con diverso peso del tessuto esterno	44
Tabella 3-5: Esigenze e requisiti di design in conformità al programma SFI Specification 3.2A	49
Tabella 3-6: Esigenze e requisiti prestazionali in conformità al programma SFI Specification 3.2A ...	51
Tabella 3-7: Risultati test valutazione TPP su un assemblaggio di esempio	54
Tabella 3-8: Classificazione SFI prevista per i completi da pilota	54
Tabella 3-9: Esigenze e requisiti di resistenza e durabilità	57
Tabella 3-10: Esigenze e requisiti di comfort	59
Tabella 3-11: Confronto di ripresa di umidità delle fibre più utilizzate per una tuta Racing	61
Tabella 3-12: Esigenze e requisiti estetici	62
Tabella 3-13: Scala di riferimento universale per la valutazione di resistenza al <i>pilling</i>	63

o. INTRODUZIONE

o.1 ARGOMENTO E SCOPO

L'obiettivo della tesi è quello di schematizzare e riassumere in maniera esplicativa le varie fasi di sviluppo di una tuta per piloti di gare automobilistiche Racing, introducendo per la prima volta, nella fase di progettazione, la procedura di certificazione CE, affiancata a quelle di omologazione rilasciate dalle federazioni che regolamentano le diverse competizioni automobilistiche in tutto il mondo, già correntemente eseguite presso l'azienda ospitante.

Il lavoro di tesi è stato sviluppato all'interno e in collaborazione con l'ufficio Ricerca & Sviluppo dell'azienda Sparco S.p.A., società italiana specializzata nella produzione e distribuzione di componenti automobilistici e abbigliamento tecnico, sita in Volpiano (TO) e militante nell'ambito del Motorsport dal 1977, anno della sua fondazione. L'azienda nasce dalla passione per le corse e per il forte desiderio di portare sicurezza nelle competizioni automobilistiche di due ex piloti, Enrico Glorioso e Antonio Parisi, che introducono nel mercato Racing le prime tute ignifughe omologate. Nel 1978 Sparco introduce il primo sedile Racing, che unito al successo della tuta, spinge l'azienda ad incrementare la propria gamma con altri prodotti, come guanti, scarpe, caschi ma anche abbigliamento dedicato al Karting. L'attività si rivolge poi al Tuning e a fine anni '90 alla tecnologia del carbonio, dove leggerezza e prestazione trovano il giusto connubio nella produzione di sedili per l'industria delle Supercar, diventando materia prima per caschi inizialmente, poi per parti strutturali e parti visibili di auto sportive. Ad oggi Sparco conta 8000 prodotti a catalogo, 1000 rivenditori in 80 Paesi nel mondo e 400 team equipaggiati in eventi nazionali ed internazionali ed è uno dei brand più presenti sul mercato del Motorsport: scopo ultimo dell'azienda, continuare a portare tecnologia, innovazione e sicurezza nel mondo dell'automobilismo competitivo.

Il progetto di tesi nasce dalla precisa esigenza dell'azienda di aggiungere alle già presenti certificazioni di omologazione del prodotto tuta Racing, prescritte dalla Federazione Internazionale dell'Automobile e dalla Fondazione SFI, quella di marcatura CE, integrando ai precisi requisiti di protezione richiesti dalle prime, quelli più generali, imposti a livello Europeo dalla seconda, ai Dispositivi di Protezione Individuale (DPI): questi vengono definiti come " *dispositivi progettati e fabbricati per essere indossati o tenuti da una persona per proteggersi da uno o più rischi per la sua salute o sicurezza*" e le tute, come capi d'abbigliamento destinati ad attività sportive, sono inclusi tra questi.

o.2 ORGANIZZAZIONE DELLA TESI

Il lavoro di tesi approfondisce lo sviluppo di una tuta da pilota Racing rendendo esplicite le caratteristiche tecnico-progettuali specifiche in termini di requisiti e prestazioni, introducendo nella loro più generale definizione di tipologia di prodotto quella di Dispositivo di Protezione Individuale (DPI), il cui soddisfacimento viene spiegato attraverso la marcatura CE dei capi in oggetto.

Allo stato attuale la sola analisi dei requisiti delle tute progettate, viene effettuata sugli standard omologativi previsti dalle federazioni automobilistiche di competenza, per far sì che i capi possano essere utilizzati durante le competizioni da loro sovrintese. Risulta dunque più efficace verificare

che i requisiti già rispettati rispondano a quelli contemplati dalla direttiva e adeguare eventualmente le caratteristiche del capo alle specifiche mancanti.

A questo scopo la trattazione, dopo una breve parte introduttiva sul significato di prodotto, nella accezione più ampia sia di elemento economico che bene fisico, e sulla strategia di sviluppo, verterà sulla progettazione e sviluppo tecnico di una tuta, evidenziandone le caratteristiche generali e i principali attributi. L'argomento viene dapprima contestualizzato dal punto di vista dell'ambiente di utilizzo, ovvero le competizioni automobilistiche con i loro pericoli, di quello normativo e infine del pilota che affronta una gara, prestando attenzione al suo profilo psicofisiologico. Da questi elementi deriverà una descrizione critica più dettagliata del prodotto nei vari aspetti che lo caratterizzano in termini di materiali, espedienti progettuali e modalità di realizzazione, in modo tale che il sistema di esigenze, requisiti e prestazioni creato attorno allo sviluppo del prodotto, trovi nel risultato finale una soluzione coerente sia con quello richiesto dal mercato che con quello prescritto dall' apparato normativo che lo regola.

Questa approfondita analisi permette di ottemperare alle richieste per l'ottenimento della certificazione CE, dimostrando il completo soddisfacimento dei requisiti essenziali di salute e sicurezza previsti dalla direttiva, facendo rientrare la tuta da pilota a pieno titolo tra i DPI, elevandone la sua funzione di protezione.

0.3 PREMESSE

I materiali, le soluzioni tecniche, gli espedienti progettuali, le modalità di realizzazione descritte non si riferiscono ad un preciso modello di tuta ma abbracciano in maniera del tutto generale l'insieme dei modelli sviluppati all'interno della azienda, e sono a titolo puramente esemplificativo e non esaustivo delle molteplici possibilità applicate e applicabili a questa tipologia di prodotto.

La più ampia trattazione di alcune parti rispetto ad altre è frutto di un maggiore approfondimento svolto durante il progetto di tesi e non è rappresentativo del grado di importanza.

La tipologia di tute descritta si riferisce principalmente a quella utilizzabile durante le competizioni di Formula 1, durante il campionato del Mondo Endurance per vetture Sport Prototipo e Gran Turismo, campionati di Rally e Turismo, Rally cross, Rally raid, Formula E, GT3, Formula 3 e Formula 4. Questa tipologia ha la principale funzione di proteggere l'utilizzatore contro il calore e il fuoco durante un potenziale incendio a bordo. Viene dunque esclusa la classe di tute dedicata ai piloti di Kart, che è regolamentata da una commissione interna alla FIA, denominata CIK-FIA con uno specifico standard, CIK-FIA N 2013-1. La tuta in questo caso ha come scopo prioritario quello di proteggere dall'abrasione il corpo del pilota e nell'eventualità di un incidente che causi il capovolgimento del mezzo e dunque il possibile prolungato sfregamento sull'asfalto.

1. STRATEGIA DI SVILUPPO DI UN PRODOTTO

Per ogni azienda lo sviluppo di nuovi prodotti ha come principale obiettivo quello di garantire il proprio successo di mercato, a fronte dei cambiamenti dei gusti e delle preferenze dei clienti, della tecnologia, delle altre variabili ambientali e della concorrenza.

Ogni prodotto attraversa un ciclo di vita che nel tempo volge al declino per poi estinguersi, perciò un'impresa deve sapere ideare nuovi articoli per sostituire quelli destinati all'uscita dal mercato. Il prodotto affinché sia di successo deve soddisfare i nuovi bisogni dei clienti, creando in loro una aspettativa tale da poter essere venduti ad un prezzo sufficientemente adeguato per la realizzazione di un guadagno, parte del quale sarà destinato ad investimenti nello sviluppo di nuovi prodotti.

L'obiettivo del processo di sviluppo di nuovi prodotti è dunque quello di creare valore per il consumatore e profitto per l'azienda, muovendosi sul mercato in maniera strategicamente competitiva.

1.1 CHE COS'È UN PRODOTTO

Il prodotto [1]. è un bene che viene venduto da un'azienda ad un cliente, offerto ad un mercato a fini di uso e consumo, in grado di soddisfare un bisogno o un desiderio. Per il consumatore il prodotto è la soluzione a un problema specifico, il cui valore è la stima soggettiva di quanto quel prodotto consente il raggiungimento degli obiettivi dell'individuo. Nella scelta dell'articolo egli prediligerà quello che massimizza il valore per unità di spesa, compatibilmente con la sua capacità d'acquisto. Per l'impresa il prodotto è un insieme di attributi, tangibili e intangibili, che caratterizzano l'offerta ad un mercato obiettivo [1].

Il prodotto dal punto di vista più strettamente economico come componente fondamentale del Marketing Mix (insieme di strumenti controllabili di marketing che l'azienda intreccia tra loro e il cui uso combinato consente di stabilire l'influenza nel mercato di riferimento) costituisce [1]. non solo il bene che soddisfa l'esigenza del compratore, ma in un'ottica di ben più ampio respiro, la serie di caratteristiche, di attributi, di aspettative che il compratore spera di soddisfare con l'acquisto. Il prodotto è quindi non solo il bene di per sé, ma anche la sua qualità, l'involucro e i servizi offerti dal venditore. Il suo successo si intreccia indissolubilmente con le altre componenti del Marketing Mix, cioè prezzo, posizionamento e promozione, a completare la strategia di mercato.

Dal punto di vista progettuale il prodotto non è che la risposta ad una serie di esigenze del cliente che tradotte in requisiti si esprimono in termini di prestazioni.

Possiamo parlare di quattro dimensioni del prodotto [2]:

- Dimensione fisica. Comprende le caratteristiche, geometriche meccaniche e funzionali del prodotto.
- Dimensione del servizio. Comprende i servizi di pre e post-vendita, come garanzia, assistenza, etc.

- Dimensione della rappresentazione. Comprende tutto ciò che viene utilizzato per identificare e differenziare il prodotto, per esempio nome, logo, confezione, parole e frasi usate nella pubblicità.
- Dimensione emotiva. Comprende quelle caratteristiche materiali ed immateriali che rendono il prodotto particolarmente desiderato.

Nessuna delle prospettive deve prevalere sull'altra ma è importante che si bilancino e si integrino tra loro. Alla definizione di prodotto si deve affiancare quella di "prodotto nuovo" e in un'ottica più ampia di "innovazione". L'innovazione [2], intesa come un'idea o un prodotto o una tecnologia che dapprima viene sviluppata e successivamente commercializzata presso i consumatori che la percepiscono come nuova, è quel processo di identificazione, creazione e distribuzione del valore attraverso un prodotto che in precedenza non esisteva sul mercato. Si possono identificare [2] diversi tipi di prodotti nuovi:

- Prodotti nuovi per il mercato. Prodotti mai apparsi prima, quindi prodotti da nessun'altra azienda
- Prodotti nuovi per l'azienda. Prodotti già presenti sul mercato, ma nuovi per l'azienda.
- Prodotti "riposizionanti". Prodotti in cui l'azienda sfrutta le proprie conoscenze per occupare altre fette di mercato.
- Miglioramento di prodotto. Miglioramento su prodotti già realizzati dall'azienda e presenti sul mercato; il miglioramento riguarda la tecnologia di produzione o l'organizzazione della produzione, attraverso nuovi processi di fabbricazione, nuove materie prime, ma anche la commercializzazione in termini di nuovi processi di distribuzione.
- Riduzione dei costi. Realizzazione dello stesso prodotto ma con costi più bassi.
- Estensione della linea. Realizzazione dello stesso prodotto per altre fasce di mercato.

In fase di avvio di un nuovo progetto è importante evidenziare una di queste tipologie per permettere al team di sviluppo di lavorare su alcuni aspetti e tralasciarne altri.

1.2 FASI DI SVILUPPO DI UN PRODOTTO

Il lancio di un prodotto nuovo sul mercato è preceduto da un processo di sviluppo, cioè l'insieme delle attività che un'azienda intraprende per ideare, progettare, realizzare e infine commercializzare un prodotto differenziabile da quelli sul mercato, che possa essere fabbricato a costi contenuti e venduto con profitto.

Il processo coinvolge le diverse funzioni aziendali affinché le operazioni ad esso correlate possano seguire un flusso ordinato e organizzato. Le principali funzioni aziendali che vi partecipano sono il marketing e il commerciale, la progettazione (R&S), la produzione e gli acquisti: il loro coordinamento e l'integrazione dei loro sforzi sono fondamentali nella buona riuscita del progetto. Ogni attore infatti contribuisce in maniera attiva e specifica su alcuni degli aspetti che caratterizzano il prodotto nella sua globalità ed è importante trovare il giusto compromesso tra questi per non creare disomogeneità e conflitti che andrebbero ad inficiare il risultato finale del prodotto stesso.

Al fine di ridurre i rischi di fallimento, le imprese devono impegnarsi nella pianificazione di nuovi prodotti forti e nella realizzazione di un sistematico processo di sviluppo. In maniera del tutto generale, si possono definire cinque macro fasi nel processo di sviluppo: [2]

Analisi: monitoraggio del proprio ambiente per cogliere tutti i segnali di innovazione potenziali (stadio strategico);

Design e sviluppo preliminare: generazione e selezione delle idee, selezione strategica delle opportunità da sfruttare (stadio dell'idea);

Sviluppo del *concept* e analisi di fattibilità: definizione del concetto di prodotto con le sue specifiche, ricerca delle risorse necessarie, interne ed esterne, e studio di fattibilità (stadio del concetto);

Progettazione: sviluppo tecnico dell'innovazione (stadio del prototipo);

Produzione e commercializzazione: lancio dell'innovazione sul mercato (stadio del lancio).

Queste fasi non sono da intendersi dal punto di vista temporale strettamente sequenziali ma leggermente sovrapposte in quello che può essere considerato un processo di sviluppo parallelo dove alcune delle attività risultano concomitanti l'una con l'altra. Il processo di sviluppo eseguito in questo modo è frutto dell'interazione continua e spontanea delle funzioni coinvolte e permette un maggior coordinamento grazie all'interazione di competenze diverse diminuendone i tempi. La velocità infatti risulta fonte di vantaggio competitivo poiché aggira il problema della sostenibilità del processo, creando profitti tempestivi e consentendo cicli di vita dei prodotti più brevi, con conseguente maggiore competizione nei mercati in crescita, alimentando il senso della creatività e della sperimentazione.

Un'efficace innovazione di prodotto deve basarsi su una ben definita strategia di nuovi prodotti, la quale deve essere in grado di raggiungere i seguenti obiettivi [2]:

- Definire le linee guida sulla base delle quali il team di progetto deve focalizzare il proprio impegno
- Favorire l'integrazione degli sforzi fra le varie funzioni aziendali
- Incentivare i membri del gruppo ad operare in maniera autonoma, efficace ed efficiente, conservando l'unità di orientamento
- Consentire una gestione proattiva anziché reattiva, stimolando la continua ricerca di opportunità di innovazione

1.2.1 L'analisi

Per realizzare i propri obiettivi di crescita e produttività, un'impresa deve compiere delle specifiche analisi per poter scegliere la strategia da utilizzare più adatta. L'attività di analisi consiste sostanzialmente nell'attenta osservazione del mercato e della posizione della azienda al suo interno e viene svolta generalmente dal Marketing. Il principale obiettivo del Marketing [1] è quello di superare le barriere esistenti tra produttori e consumatori individuando bisogni e desideri di quest'ultimi, comprendendone i fattori che influenzano la decisione e il comportamento d'acquisto, analizzando l'insieme delle attività svolte dall'impresa in termini di attrattività e competitività. L'operazione di analisi si articola in una serie di operazioni che consistono nel seguire l'evoluzione del mercato di riferimento (analisi della domanda), individuare e definire segmenti reali o potenziali, analizzare le forze concorrenziali, identificare le aspettative del cliente per ricercare ed elaborare le opportunità di mercato potenzialmente più interessanti per l'azienda. Si può definire questo lo stadio strategico del processo di sviluppo dove non solo si esegue una diagnosi di portafoglio

prodotti/mercati per la scelta di sviluppo di nuovi prodotti ma si analizza il profilo aziendale nei suoi punti di forza dal punto di vista di risorse e know-how, tecnico, commerciale, finanziario e organizzativo, e nei suoi punti di debolezza. In quest'ottica l'analisi dei prodotti attualmente sul mercato in termini di posizionamento, prezzo, trend di vendite, criticità e punti di forza diventa indispensabile per capire quali tipi di prodotto immettere sul mercato, dove collocarli e contemporaneamente scegliere quali ritirare.

1.2.2 Design e sviluppo preliminare

Questa è la fase in cui, identificata e valutata l'idoneità e l'importanza di un'opportunità di mercato potenzialmente percorribile per l'azienda, si dà avvio alla generazione del progetto che ha l'obiettivo di fare emergere un numero elevato di idee. Le fonti da cui nascono le idee possono essere interne (venditori, produzione, R&S) o esterne come clienti chiave, aziende e prodotti concorrenti, esperti e clienti tecnici, brevetti e soluzioni destinati ad altri campi di applicazione. Un'idea, [2] intesa più generalmente come combinazione inattesa di due o più concetti, può nascere attraverso diversi metodi:

- gruppi di creatività, fondati sull'immaginazione e sull'intuito (brainstorming)
- analisi funzionale, studiando dunque i prodotti dal punto di vista dei problemi riscontrati durante le situazioni di utilizzo o delle sue caratteristiche per individuarne possibili miglioramenti
- metodi basati sui clienti, che si rivolgono a quest'ultimi per scoprire bisogni insoddisfatti o mal soddisfatti dai prodotti esistenti.

Ciascuna idea di prodotto deve essere sottoposta ad uno screening preliminare che consenta di valutarne l'attrattività attuale e prospettica, nonché la compatibilità con le risorse e gli obiettivi dell'impresa.

1.2.3 Sviluppo del concept e analisi di fattibilità

Durante questa fase le idee che superano la selezione preliminare, vengono approfondite e tradotte in prodotti: di questi vengono determinati i requisiti specifici e valutata la fattibilità. L'obiettivo è convertire un'opportunità di mercato in una soluzione percorribile che possa soddisfare tutte le richieste interne ed esterne.

Le idee dunque vengono inizialmente tradotte in concetti di prodotto (*concept*). Un *concept* di prodotto [2] consiste in una versione elaborata dell'idea che descrive e definisce le principali caratteristiche, le funzioni e i benefici che ne trarrà il potenziale acquirente. È rappresentato da una descrizione approssimata della tecnologia, dei principi di funzionamento e della forma del prodotto, deve specificare la promessa fatta dal nuovo prodotto, le sue caratteristiche fisiche e percettive e il gruppo di utenti a cui si rivolge. I dettagli del prodotto devono comprendere le caratteristiche estetiche, il confezionamento, le modalità di stoccaggio e le modalità di distribuzione.

Le specifiche di prodotto che vengono definite sono specifiche preliminari e saranno l'input per gli studi di fattibilità e, dopo essere state raffinate, per le attività tecniche di progettazione. I fattori che influenzano la scelta delle specifiche sono i bisogni dei clienti, le caratteristiche dei prodotti attualmente sul mercato, le capacità future della concorrenza, i segmenti di mercato interessati dal

prodotto e la missione aziendale. Le specifiche di prodotto sono la traduzione dell'insieme di esigenze scaturite nelle precedenti fasi in soluzione tecnica e la quantificazione delle variabili che lo costituiscono. Le specifiche di un prodotto costituiscono una sorta di "piano d'azione" di un progetto. Esse guideranno il progetto lungo tutto l'arco dello sviluppo. Lo sviluppo delle specifiche di un prodotto è un processo costituito da due stadi. Nel primo si stabiliscono specifiche di target che aiutano ad incanalare le riflessioni degli ingegneri e dei tecnici durante il processo di generazione del *concept* (di solito richiede che vengano fatte ipotesi relativamente alla possibile configurazione di prodotto finale); nel secondo vengono perfezionate le specifiche una volta che il gruppo di lavoro ha scelto un *concept* di prodotto ed è pronto a passare alla progettazione a livello di sistema (specifiche finali). L'esplorazione dei requisiti deve però riguardare tutti gli aspetti della idea proposta, le diverse soluzioni possibili e le attività necessarie per supportare la produzione: gli studi di fattibilità sono valutazioni che comprendono tutti gli aspetti della opportunità di mercato in termini di capacità tecniche, costi e budget, profitti, previsioni di vendita, materiali, risorse umane e requisiti di produzione, supporto post vendita, considerazioni etiche, scadenze temporali e richieste dei consumatori e sono indispensabili per verificare la realizzabilità del progetto e accertare l'effettiva corrispondenza agli obiettivi dell'impresa.

Solo a questo punto possono essere definite le specifiche finali, basate su un *concept* selezionato e l'analisi di fattibilità. I passi per l'affinamento delle specifiche finali sono lo sviluppo di modelli tecnici del prodotto e un modello di costo del prodotto. Queste informazioni riescono a fornire al reparto R&S, incaricato di verificare la compatibilità tecnica e le modalità produttive di questo, l'insieme delle specifiche tecniche necessarie per avviare lo sviluppo.

1.2.4 Sviluppo tecnico e progettazione

In questa fase si avvia la vera e propria progettazione del prodotto. Le specifiche finali costituiscono gli input e gli obiettivi per lo sviluppo tecnico del prodotto che poi andrà in produzione.

L'elaborazione del prodotto comincia dal suo design a livello di sistema. Un approccio di tipo sistemico alla "costruzione dell'oggetto" garantisce infatti un buon controllo della qualità complessiva del prodotto, intesa come completo soddisfacimento delle specifiche richieste, a partire dalla qualità delle sue parti. Questo tipo di approccio richiede dunque la scomposizione del sistema - prodotto nei suoi componenti e sottoinsiemi e la successiva definizione della sua architettura, cioè la disposizione di tutti gli elementi costitutivi in blocchi fisici definiti sulla base della loro funzione e di come si interfacciano con il resto del dispositivo.

Agli intenti fondativi del progetto, cioè le specifiche richieste, corrispondono le relative funzioni del prodotto e quindi dei vari elementi che lo costituiscono: l'analisi esigenziale - prestazionale è uno strumento utile per schematizzare e fissare le principali caratteristiche di questi, la cui combinazione andrà a costituire quelle del prodotto finale. A ciascuna funzione corrisponde un insieme (estremamente vasto ed eterogeneo) di esigenze traducibili in requisiti che si rifletteranno sul prodotto in termini di prestazioni, cioè il suo comportamento analizzato in relazione al suo uso specifico.

Solo dopo aver completato le valutazioni di fattibilità per i sottosistemi, l'analisi dei requisiti e raffinato le specifiche funzionali, si passa al design di dettaglio dove si avvia lo sviluppo in scala completa del prodotto, vengono scelti i materiali, comincia la realizzazione dei prototipi e vengono

sviluppare le specifiche di dettaglio per tutti i componenti. In questa fase la progettazione si confronta con la produzione per dare avvio all' industrializzazione del prodotto, definendo le fasi di lavorazione e i cicli di lavorazione, individuando la migliore tecnologia disponibile per la realizzazione del prodotto, gestendo i problemi relativi al processo produttivo, verificando la conformità del prodotto alle specifiche richieste, gestendo i conflitti tra progettazione ed esecuzione per dar vita al prodotto finale.

La pianificazione di test qualitativi per valutare le prestazioni e l'affidabilità del prodotto è necessaria per verificare che il prodotto rispetti le specifiche funzionali richieste; solo dopo la fase di progettazione si potrà dire conclusa e si potrà dare avvio alla produzione.

1.2.5 Produzione e commercializzazione

Rilasciata la documentazione definitiva alla produzione, verificata la disponibilità dei componenti che costituiscono il prodotto ed eseguita la messa a punto delle attrezzature, inizierà la produzione. Costruiti i primi lotti, alcune specifiche di produzione potranno essere riviste per andare incontro ad esigenze esterne o interne, ma risulterà importante mantenere un livello e una continuità di produzione qualitativamente accettabile.

Il lancio di un prodotto sul mercato prevede che venga scelto quando effettuarlo e dove effettuarlo, a quale mercato obiettivo indirizzarlo e quale strategia applicare in termini di prezzo e posizionamento. Il flusso di diffusione dipenderà dalla natura dell'innovazione. I fattori che influenzano la velocità di diffusione sono [2]:

- Vantaggio relativo: misura in cui l'innovazione è considerata superiore alle alternative esistenti;
- Complessità: grado di difficoltà associata all'idea o al nuovo prodotto;
- Compatibilità: grado di inserimento dell'innovazione nelle abitudini dei potenziali consumatori;
- Comunicabilità: facilità con cui si riesce a trasmettere al potenziale utilizzatore l'essenza dell'innovazione;
- Verificabilità: capacità dell'innovazione di essere provata su scala ridotta prima di essere immessa sul mercato.

2. CONTESTO GENERALE

2.1 IL MOTORSPORT E I SUOI PERICOLI

“Motorsport is dangerous”: su tutti i passi di accesso ai paddock nei circuiti americani è presente questa dicitura che mette in guardia i piloti sul rischio che corrono prima di affrontare una gara. Il pericolo è presente però su ogni campo gara a prescindere dalla sua nazionalità, ed è dovuto all'intrinseca rischiosità delle gare automobilistiche, dal Kart al Racing. Molte persone, inclusi piloti, membri della squadra, ufficiali, spettatori, negli anni sono morti durante incidenti legati a questo sport. Negli ultimi anni si è resa sempre più evidente la consapevolezza che le persone coinvolte non sono solo dilettanti ma veri e propri professionisti che fanno di una loro passione un lavoro vero, durante il quale il rischio di rimanere feriti è molto alto così come quello di perdere la vita.

Dal 1900 ad oggi sono circa 630 i piloti di fama mondiale morti durante gare su circuiti di tutto il mondo ma molti sono coloro rimasti coinvolti in brutti incidenti anche in gare di livello inferiore. Fortunatamente gli incidenti mortali sono diminuiti grazie alle procedure di sicurezza che sono state messe in atto per poter salvaguardare i piloti e chi lavora per loro, ma in ogni caso la necessità della sicurezza rimane un'esigenza pressante. È impossibile rimuovere tutta la componente di rischio che aleggia su questo sport poiché il rischio è il compagno di gara e il pericolo è il principale avversario ed entrambi sono le componenti emozionali che hanno dato successo a questa pratica sportiva: risulta comunque fondamentale ridurre l'entità dei possibili danni a cui si può andare incontro. Gli elementi che concorrono alla resa di un incidente fatale sono la combinazione di forze applicate in un tempo critico al corpo senza che questo sia in grado di proteggersi da danni significativi. La velocità amplifica ancora più l'incapacità di controllare tutti i fattori di rischio. Si possono migliorare i percorsi di gara, le macchine che gareggiano al loro interno e l'equipaggiamento che si indossa durante le gare ma alla fine una ricca dose di fortuna è necessaria per poter sopravvivere durante un brutto incidente.

In quest'ottica, qualsiasi azienda che opera in questo settore deve prefiggersi come obiettivo fondamentale la sicurezza del pilota e la salvaguardia del suo bene più prezioso, la vita.

2.1.1 Principali cause di morte e misure di sicurezza in caso di incendio

Un'analisi [3] eseguita su una serie di incidenti ha evidenziato che i piloti coinvolti in uno scontro muoiono a causa principalmente di sei motivi: trauma da corpo contundente, trauma da penetrazione, lesioni al midollo spinale e alla base del cranio, ferite da improvvise decelerazioni con distruzione degli organi interni (cervello, aorta, fegato, vena cava e ilo polmonare), incendi oppure cause slegate da un preciso trauma. Si evince che a prescindere dalla dinamica dell'incidente, il corpo del pilota rimane la parte più fragile delle macchine da gara e su di esso si riversano la maggior parte delle forze coinvolte nell'impatto. L'adozione di misure di sicurezza come cinture e sedili dal particolare design, l'eliminazione di oggetti affilati o non ben assicurati all'interno dell'abitacolo di tutte le auto da corsa, l'obbligo indossare il sistema HANS (*Head And Neck Support*) hanno permesso una considerevole riduzione delle prime tipologie di rischio, ma esse rimangono le cause più frequenti di morte in caso di incidente.

Nonostante gli innumerevoli casi di incendio, quest'ultimo spesso non ha ricoperto il ruolo di principale causa di morte nel caso di incidenti di grave entità ma si è posto molto spesso come

evento collaterale ad uno dei casi precedentemente descritti. Malgrado ciò molti degli incendi hanno causato lesioni e coinvolto non solo piloti, ma anche addetti ai lavori nei box e talvolta tifosi. Grandi quantità di sostanze combustibili e molteplici potenziali fonti di accensioni come cortocircuiti dei sistemi elettrici, impianti di scarico rovente e lo scoppio degli air-bag sono le fonti di rischio più comuni.

Frequenti casi di incendio [4] furono registrati fino agli anni '60 quando all'interno delle auto di Formula 1 ad esempio non vi erano estintori e i serbatoi erano costituiti semplicemente da pannelli di alluminio rivettati e sigillati a formare una struttura estremamente fragile. Questi vennero in un secondo momento rivestiti da fibra di vetro impedendo in parte, in caso di rottura del serbatoio la fuoriuscita del carburante, senza però impedirne il guasto. Inoltre l'ingresso di sfianto del serbatoio che consente al combustibile di fluire liberamente nel motore spesso faceva fuoriuscire il carburante dal serbatoio anche quando l'auto era rovesciata e le linee di combustibile stesse, seppur forti linee intrecciate in acciaio, nel caso in cui le connessioni si fossero sfilate, potevano spargere molto del carburante. Gli sforzi volti ad evitare che il combustibile versato entrasse in contatto con superfici calde come lo scarico, solitamente punto di accensione primario in un incidente, spesso erano inutili.

Per molto tempo [4] l'uso di estintori in auto non venne visto di buon grado a causa del peso aggiunto ad un sistema che sarebbe dovuto essere il più leggero possibile; inoltre, quando vennero introdotti, l'attivazione da parte del pilota ne rendeva spesso l'utilizzo impossibile in caso di incidente. L'introduzione di sensori di fiamma all'interno dell'auto consentì ai sistemi di estinzione di attivarsi in maniera automatica: furono aggiunti tubi dotati di interruttori che nel momento in cui rivelavano un'espansione del carburante dovuta al calore attivavano il sistema antincendio. Negli anni '60 la progettazione dei serbatoi fu approfondita ma molte delle tecnologie potenzialmente utilizzabili, poiché già lungamente sfruttate nel campo dell'aeronautica, non furono adottate a causa dei costi estremamente elevati. La prima modifica eseguita sul serbatoio ai fini di una maggiore sicurezza fu quella di riempire i serbatoi con una speciale schiuma, che aveva l'effetto di fermare lo sciabordio del carburante e di arrestarne la fuoriuscita in caso di rottura. Lo sviluppo concomitante di "celle a combustibile" fu un enorme progresso nel ridurre il fuoco negli incidenti. La cella a combustibile consisteva in un serbatoio flessibile per il carburante, una sacca di tessuto in nylon stratificata con resina di poliestere e rivestita con uretano all'interno e all'esterno. Al suo interno veniva inserita la speciale schiuma permettendo una riduzione del 10% del volume della cella. Sottoposte a test di caduta da 6 m su un cono di acciaio queste rimanevano illese e nel caso di una penetrazione da parte di un corpo tagliente, il tessuto si estendeva attorno all'oggetto. Le celle a combustibile furono comunque poste in contenitori in alluminio o in acciaio per una maggiore protezione contro l'impatto; esse sono ancora attualmente in uso anche se il tessuto in nylon è stato sostituito da Kevlar. Le linee di carburanti rimangono intrecciate, ma ora incorporano giunti autosigillanti per impedire la perdita di carburante in caso di incidente.

Il rifornimento di carburante durante le gare di Formula 1 risulta ancora oggi [4] un argomento molto dibattuto. Nel 1983 ne venne inizialmente introdotto il divieto con il principale obiettivo di rallentare le vetture durante la corsa: infatti se un'auto aveva solo una quantità predeterminata di carburante, allora non poteva essere guidata a velocità massima per tutta la gara. Questo argomento di sicurezza venne però molto contestato proprio a causa delle grandi quantità di carburante trasportate dalle auto nella prima metà della gara e al grave rischio di incendio in caso di incidente;

inoltre uno sport caratterizzato dalla velocità perdeva irrimediabilmente il suo fascino. Venne dunque reintrodotta nel 1994 ma poi nuovamente vietata nel 2009, regola che perdura fino ai giorni nostri. Per evitare il trasporto di grandi quantità di carburante vennero quindi imposti limiti sui kg di carburante trasportabile. Rimane comunque innegabile considerare il momento del rifornimento uno dei momenti più pericolosi in termini di possibili incendi vista la simultanea presenza di potenziali elementi di rischio, quali grandi quantità di combustibile, aria, temperature molto alte e numeroso personale addetto.

L'introduzione delle misure di sicurezza sopra menzionate risultò nel tempo efficace nella gestione degli incendi e nella riduzione di questi ma non nella specifica salvaguardia del corpo del pilota eventualmente coinvolto. Solo l'obbligo [4] dell'utilizzo di abbigliamento ignifugo che proteggesse il pilota dalle fiamme e dal calore risultò vincente così come l'aggiunta al casco, realizzato in materiale non infiammabile, di un tubicino per l'ossigeno collegato ad una bombola nell'abitacolo per evitare l'inalazione di fumi tossici durante l'incendio.

La tuta, assieme a tutto l'abbigliamento in dotazione di tipo ignifugo, si pone come ultimo livello di protezione per far sì che il pilota possa sopportare la combinazione di energia termica conduttiva, convettiva e radiante che si libera durante un incendio, permettendo a chi la indossa di sopravvivere a temperature attorno agli 850 °C, rimanendo sì ferito ma lasciando il tempo necessario al personale addetto alla sicurezza di intervenire. La vita del pilota non sarà messa in salvo esclusivamente dalla tuta ma l'equipaggiamento in dotazione gli garantirà una quantità di tempo prezioso per la sua incolumità e per la riduzione delle lesioni a suo carico.

2.2 APPARATO NORMATIVO E REGOLAMENTARE

2.2.1 La FIA

Dalla sua fondazione nel 1904, la Fédération Internationale de l'Automobile (FIA) [5] ha dedicato i suoi sforzi nel rappresentare gli interessi delle organizzazioni automobilistiche di tutto il mondo e soprattutto quella dei piloti che gareggiano in diverse tipologie di gare e campionati. Essa è il principale organo governativo del Motorsport a livello mondiale con sede principale a Ginevra in Svizzera e raccoglie 245 organizzazioni automobilistiche nazionali di 143 Stati diversi su 5 continenti. Grazie alle competenze acquisite in tale ambito, la FIA è da allora diventata un'organizzazione no-profit che mira a salvaguardare i diritti e promuovere gli interessi di tutti coloro che militano nello sport automobilistico in tutto il mondo. La FIA su argomenti quali la sicurezza, la mobilità, l'ambiente e il diritto dei consumatori, promuove attivamente gli interessi degli automobilisti all'interno delle Nazioni Unite e dell'Unione Europea e di altri organismi internazionali. I prodotti che presentano il marchio "*FIA Homologated*" assicurano al consumatore un livello massimo di prestazione, qualità e sicurezza. La FIA nacque dall'esigenza di garantire e disciplinare la sicurezza e la concorrenza leale durante gare automobilistiche che sempre di più riscuotevano successo ma che venivano corse senza regole. Riconoscendo l'intrinseca pericolosità di questo sport, la FIA lavora ancora oggi incessantemente per migliorare la sicurezza a tutti i livelli di competizione, dalle gare più prestigiose a quelle meno conosciute, dedicando i suoi studi e le sue ricerche nell'incessante miglioramento dell'equipaggiamento del pilota.

2.2.1.1 FIA Standard 8856:2000

Uno degli obiettivi chiave della FIA è incoraggiare e attuare l'adozione di norme comuni per tutte le forme di sport e serie di motori in tutto il mondo. In quest'ottica la FIA prevede regolamenti per quanto riguarda il design dei percorsi di gara, delle auto e nello specifico di molti dei componenti utilizzati durante le gare. Tra questi non manca un regolamento che disciplina l'abbigliamento e equipaggiamento del pilota che comprende tuta, scarpe, guanti e sottoindumenti, maglia, pantalone, sottocasco e calze. Ogni regolamento definisce i principali requisiti che l'oggetto deve soddisfare per poter essere considerato adeguato per l'utilizzo durante le competizioni. A garanzia di ciò FIA rilascia per ogni equipaggiamento un'omologazione senza la quale non è possibile gareggiare in molti circuiti le cui competizioni sono organizzate e salvaguardate da FIA.

Lo standard FIA 8856:2000 [6] regola l'abbigliamento dei piloti nei metodi di prova, i requisiti di prestazione e i parametri di progettazione per gli indumenti di protezione contro il calore e la fiamma destinati ai conducenti di gare automobilistiche. È dovere del pilota indossare l'equipaggiamento ignifugo completo affinché la sua sicurezza sia garantita al massimo livello.

Per poter ricevere l'omologazione [7] qualsiasi prodotto che lo necessita deve essere testato secondo i requisiti richiesti dalla norma da uno dei laboratori approvati da FIA, i quali posseggono la giusta attrezzatura per poter eseguire tutte le prove richieste. Il produttore presenta il modello al laboratorio con relativa domanda di omologazione e questo, conclusa la serie di test, rilascia un fascicolo che attesta che il modello è conforme alle specifiche imposte. Il suddetto fascicolo deve essere convalidato dalla Autorità Sportiva Nazionale, ASN, (nel caso specifico italiano l'ACI, Automobile Club d'Italia) che agisce da intermediario tra la FIA e il produttore presenta il fascicolo di domanda di omologazione alla FIA per conto del costruttore. LA FIA, ricevuto il fascicolo, verifica che esso sia completo e che soddisfi i requisiti per il rilascio dell'omologazione, in conformità alla norma di riferimento. La FIA si riserva il diritto di poter chiedere ulteriori informazioni ritenute necessarie per poter accertare la reale conformità del prodotto.

Al termine della valutazione del fascicolo, la FIA rilascia un certificato di approvazione e inserisce il prodotto all'interno della corrispondente lista tecnica (Lista Tecnica n°27 nel caso specifico): solo allora il produttore può dichiarare che il prodotto è "*FIA Approved*" o "*FIA Compatible*" e commercializzarlo come tale. Nel caso della tuta questa verrà identificata con il nome del modello e una specifica sigla omologativa del tipo RS.XXX.XX che dovrà essere riportata in un distintivo ricamo sul capo e si riferisce in maniera univoca al particolare esemplare.

La validità dell'omologazione è di 5 anni rispetto al mese in cui viene rilasciata l'omologa e dopo tale data quel particolare tipo di modello se non sottoposto ad opportuna procedura di ri-omologazione non può essere più prodotto.

Durante il periodo di validità dell'omologa la stabilità e la conformità agli standard FIA deve essere verificata all'interno della cornice della procedura di post-omologazione, che fissa le seguenti condizioni: il produttore accetta che FIA effettui test di controllo per garantire la conformità dei prodotti omologati ed inoltre si impegna a non modificare la progettazione, i materiali e la modalità di fabbricazione fondamentale del prodotto. I test possono essere eseguiti su un campione del prodotto prelevato direttamente presso il sito produttivo, durante un evento o presso uno dei canali

di distribuzione ed effettuati in uno qualsiasi dei laboratori approvati da FIA. Se il campione non risultasse conforme allo standard, la non conformità del prodotto sarà stabilita solo dopo il prelievo di un secondo campione e la successiva esecuzione dei test nel laboratorio in cui sono stati condotti i test di omologazione iniziali con la partecipazione del produttore e un rappresentante della sua ASN. Nell'eventualità che il prodotto risulti non conforme, la decisione di annullare l'omologazione potrà essere adottata e questa sarà immediatamente ritirata. Il prodotto non sarà quindi più accettato per gli eventi disciplinati dalle norme FIA.

2.2.2 Fondazione SFI

La fondazione SFI [8] è un'organizzazione non-profit con sede a Poway in California, che conta approssimativamente 100 membri per quanto riguarda organi sanzionatori e ben oltre 300 produttori, istituita per amministrare e istituire diversi standard per le attrezzature di automobili ad alte prestazioni e per competizioni. Le norme comprendono parti come meccanismi di frizione e le celle a combustibile nonché i dispositivi per la sicurezza personale dei piloti. Esistono particolari gare che richiedono questa tipologia di omologazione soprattutto negli Stati Uniti e spesso risulta associata a quella FIA: anche in questo caso risulta obbligatorio l'utilizzo di abbigliamento adeguato e normato secondo uno dei protocolli di garanzia di qualità.

Gli standard vengono redatti da un comitato tecnico costituito da individui coinvolti e competenti nel settore. Attraverso la loro esperienza e ricerca, viene elaborata una specifica e poi offerta a tutte le parti interessate sotto forma di audizione pubblica. Se approvate dal consiglio di amministrazione, le specifiche sono pubblicate.

I programmi sono destinati a promuovere la qualità e l'affidabilità nella progettazione, nella produzione e nell'utilizzo dei prodotti, fornendo informazioni ai venditori e agli acquirenti e mettendo a disposizione riferimenti comodi e affidabili per la valutazione dei prodotti ai funzionari degli eventi.

2.2.2.1 SFI Specification Program 3.2

I programmi [9] dedicati all'abbigliamento sono il "*SFI Specification 3.2*" per quanto riguarda la tuta e "*SFI Specification 3.3*" in riferimento agli accessori per piloti, guanti, sottoindumenti, calze, sottocasco, scarpe, collare e cuscinetti per le cinture

Entrambi stabiliscono uniformi procedure di test e requisiti minimi standard per valutare e determinare le capacità prestazionali della tuta e degli accessori utilizzati da coloro che partecipano a competizioni automobilistiche.

La tuta e tutti gli accessori devono essere costituiti da materiali ignifughi testati in termini di protezione termica e livello di infiammabilità secondo le procedure descritte nel "*SFI Technical Bulletin 3.2*": la specifica contiene un sistema di classificazione basato sul livello di prestazione dell'abbigliamento a fornire protezione termica (TPP, *Thermal Protective Performance*) in presenza di fiamma diretta e calore radiante. Lo scopo della TPP è quello di misurare il tempo massimo a cui la persona che indossa l'indumento può essere esposta a una fonte di calore prima di incorrere in una bruciatura di secondo grado.

La valutazione TPP è il risultato della combinazione tra flusso di calore durante l'esposizione e il tempo di esposizione. Maggiore è il grado che viene associato all'indumento, più tempo è necessario prima che chi lo indossa possa incorrere in una bruciatura di secondo grado.

2.2.3 Direttiva 89/686/CEE e la marcatura CE

Se la conformità alle norme emesse da FIA ed SFI degli articoli utilizzati dai piloti risulta obbligatoria per la partecipazione alla maggior parte delle gare a livello agonistico, la Certificazione CE non è richiesta da nessun regolamento di gara; a livello europeo, essendo un prodotto che svolge una funzione protettiva per l'utilizzatore, è però incluso nell'ambito di applicazione della normativa che regola l'immissione e la libera circolazione dei suddetti prodotti sul mercato all'interno dell'Area Economica Europea, cioè la direttiva 89/686/CEE, la quale con decorrenza aprile 2018 verrà abrogata a favore del *REGOLAMENTO (UE) 2016/425 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 9 marzo 2016 sui dispositivi di protezione individuale*. Entrambi, a prescindere dallo strumento giuridico con cui sono stati emessi, stabiliscono [10] i requisiti per la progettazione e la fabbricazione dei dispositivi di protezione individuale DPI che vengono introdotti sul mercato, al fine di garantire un livello di protezione della salute e della sicurezza degli utilizzatori adeguato agli standard europei: la conformità di un prodotto è resa visibile dalla marcatura CE.

Per «dispositivi di protezione individuale» (DPI) si intendono dispositivi progettati e fabbricati per essere indossati o tenuti da una persona per proteggersi da uno o più rischi per la sua salute o sicurezza ma anche componenti intercambiabili dei dispositivi sopracitati o sistemi di collegamento per quei dispositivi che non vengono indossati o tenuti ma che richiedono che vengano ancorati ad altri dispositivi esterni o punti di ancoraggio. Il regolamento si applica a tutti i DPI, compresi quelli destinate alle attività sportive e, a seconda dei rischi da cui sono destinati a proteggere gli utilizzatori, vengono classificati in tre categorie. L'appartenenza a una o all'altra categoria dipende esclusivamente dalla tipologia e entità del rischio: alla categoria I appartengono prodotti che proteggono da rischi minimi, alla categoria III quelli che proteggono da rischi che potrebbero causare conseguenze molto gravi per l'utilizzatore, quali morte o danni alla salute irreversibili, mentre la categoria II comprende i rischi esclusi dalle altre due.

Il regolamento sancisce in maniera esaustiva gli obblighi all'atto dell'immissione sul mercato dei DPI dei fabbricanti, i quali, stilata la documentazione tecnica ed eseguita la procedura di valutazione di conformità, garantiscono che la progettazione e la fabbricazione dei DPI sia conforme ai requisiti essenziali di salute e di sicurezza disciplinati dal regolamento.

Qualora la conformità di un DPI ai requisiti essenziali di salute e di sicurezza applicabili sia stata dimostrata secondo la procedura appropriata, i fabbricanti redigono la dichiarazione di conformità UE e appongono la marcatura CE sui prodotti.

I DPI che entrano nel mercato dell'Unione sono sottoposti a procedure di controllo: le autorità di vigilanza del mercato di uno Stato membro, qualora abbiano sufficienti ragioni per ritenere che un DPI disciplinato dal presente regolamento presenti un rischio per la salute o la sicurezza delle persone, possono effettuare una valutazione del DPI interessato che contempli tutti i requisiti imposti dal regolamento. Se nel corso della valutazione le autorità di vigilanza del mercato concludono che il DPI non rispetta i requisiti sarà chiesto tempestivamente all'operatore economico interessato di adottare tutte le misure correttive del caso al fine di rendere il DPI conforme ai

suddetti requisiti oppure di ritirarlo dal mercato o di richiamarlo entro un termine ragionevole e proporzionato alla natura del rischio, a seconda dei casi.

A parte gli aspetti più strettamente normativi e burocratici, il regolamento disciplina per la progettazione dei prodotti tutta una serie di requisiti essenziali di salute e di sicurezza che non possono essere dunque trascurati in fasi di sviluppo. Gli obblighi relativi ai requisiti essenziali di salute e di sicurezza si applicano soltanto se per il DPI in questione sussiste il rischio corrispondente ed è dunque compito del fabbricante effettuare una valutazione dei rischi al fine di individuare i rischi che concernono il suo DPI. In sede di progettazione e di fabbricazione del DPI, nonché all'atto della redazione delle istruzioni, il fabbricante considera non solo l'uso previsto del DPI, ma anche gli usi ragionevolmente prevedibili. Obiettivo del regolamento è definire dunque una serie di requisiti a cui il progettista deve rispondere in termini di soluzioni tecniche e scelte di caratteristiche del prodotto grazie alla applicazione delle norme armonizzate che fanno riferimento allo specifico requisito richiesto.

2.3 PROFILO PSICOFISIOLOGICO DEL PILOTA DURANTE LA GARA

Nello sport automobilistico non solo le caratteristiche e le prestazioni dell'auto ma soprattutto le abilità del pilota e la sua efficienza mentale in fase di guida risultano fondamentali nella buona riuscita di una gara in termini sia di risultati che di sicurezza durante la manifestazione sportiva. Si rende dunque necessario esaminare in primo luogo le condizioni nelle quali il pilota svolge la sua attività così da evidenziare i principali fattori di stress che deve sopportare. Un'attenta analisi in questa direzione permette a chi progetta di verificare che il prodotto sia adatto allo scopo, che possa intervenire nella riduzione dei fattori di stress per diminuire le tensioni di tipo psico-fisiologico, migliorando le prestazioni del pilota e tutelandone nel contempo salute e sicurezza.

Il pilota [11] deve eseguire una prestazione lunga e continuativa a velocità molto alte, che possono superare i 300 km/h, gestendo durante la guida molte situazioni come fattori esterni imprevedibili e interni, provenienti ad esempio dai dati visualizzati sul volante o quelli ricevuti tramite interfono. Il pilota evidenzia un consumo di ossigeno simile a quello di altri sportivi a causa dell'impegno muscolare necessario per mantenere una posizione stabile del corpo e deve possedere una grande forza fisica per contrastare accelerazioni anche 4/5 volte quella gravitazionale e nel contempo manovrare il veicolo. Soprattutto nei campionati in cui si usano vetture con l'abitacolo coperto le temperature all'interno dell'auto possono raggiungere anche 65°C richiedendo sforzi di termoregolazione molto esigenti. Ad oggi non è possibile avere un quadro completo della condizione fisiologica e psicologica del pilota ma in futuro la quantificazione di alcuni fattori di stress sarà correlata a precisi indici psicofisici come la frequenza cardiaca, la temperatura corporea, quantità e tipologia di sudore che monitorati daranno utili informazioni a riguardo.

L'accelerazione e l'esposizione ad alte temperature risultano gli elementi che più incidono sulla prestazione dell'atleta. Soffermandoci sulla seconda, la termoregolazione del pilota è compromessa sia dagli indumenti di sicurezza che deve indossare (tuta, sottocasco, casco, sottoindumenti, guanti, calze e scarpe) sia dallo stretto abitacolo di guida in cui la circolazione dell'aria è pressoché nulla e l'utilizzo di materiali sottili per ridurre il peso e il design aerodinamico forzano il calore proveniente dal motore nella cabina di guida. Allo stress fisico di guida si aggiungono quindi altri elementi di stress da calore, come l'eccessiva umidità e la disidratazione con ripercussioni negative sulle funzioni

cardiovascolari e sull'assorbimento massimale di ossigeno: maggiore è la perdita di liquidi, maggiore è la riduzione della capacità aerobica. Una perdita d'acqua pari al 4% del peso totale corporeo si traduce in una perdita del 20-30% della capacità di lavoro fisico: alcuni studi hanno registrato una perdita di liquidi di circa 1 L/h e dunque la perdita della capacità di lavoro di tale entità può avvenire per un pilota normopeso (70 kg) dopo circa 2,5 ore di gara. L'eccessiva variazione della temperatura corporea ha in generale conseguenze negative sulle prestazioni: un aumento di 0,8 °C si è dimostrato in grado di diminuire la coordinazione oculo - manale rallentando i riflessi e la precisione esecutiva ad esempio nella gestione del volante ed influenzando negativamente nella velocità decisionale. L'alto tasso di calore può causare pronunciati cambiamenti nel sistema cardiovascolare del pilota dovuti all'aumentare del flusso sanguigno della pelle per dissipare calore. L'innalzamento della frequenza e della gittata cardiache, associate all'esercizio in situazioni di calore elevato, sono necessarie per mantenere una pressione sanguigna idonea ad irrorare i muscoli attivi, includendo il miocardio e i vasi sanguigni periferici.

Durante la gara il pilota è sottoposto ad una forza gravitazionale che può essere sia positiva (accelerazione), sia negativa (decelerazione) e può esercitare la sua intensità sull'asse avanti-dietro, lato a lato o alto-basso. La presenza della forza G determina un maggiore sforzo cardiovascolare per far circolare il sangue nel corpo ed in particolar modo verso il cervello. Inoltre, con forza che spinge verso il basso, il sangue viene spinto dal capo alla periferia, indipendentemente da quanto sia intenso il lavoro del cuore. Il costante lavoro esercitato sui pedali sommato all'attivazione muscolare isometrica del collo, del tronco, dell'addome e delle gambe per contrastare l'alta esposizione alle forze gravitazionali possono non solo contribuire all'aumento del calore metabolico ma anche dello sforzo cardiovascolare. Per quanto riguarda gli aspetti circolatori, gli occhi cominciano ad avere problemi già con una forza pari a 2-3 volte quella gravitazionale, con una riduzione della visione periferica, creando l'effetto di visione tunnel. Le elevate temperature all'interno di un abitacolo riducono a 1 G la soglia di accelerazione che mantenuta per 15 s causa al soggetto la perdita della vista periferica per un tempo pari 5 s.

Risulta quindi di attuale interesse analizzare e comprendere le variazioni di alcuni indici psicofisiologici del pilota durante la gara, come ad esempio l'incremento della frequenza cardiaca, la durata di tale incremento per l'intera prestazione, l'intensità dello sforzo muscolare, l'aumento della temperatura corporea.

La frequenza cardiaca elevata e duratura è un indice distintivo dell'intenso impegno fisico richiesto dal compito di guida e da aspetti emozionali e cognitivi collegati alla competizione. La frequenza cardiaca registrata prima della partenza risulta attorno 150-180 ma può aumentare fino 200-205 bpm al momento della partenza per poi mantenersi a questo livello per tutta la durata della gara. L'aumento della frequenza cardiaca si associa in genere al miglioramento della prestazione, in quanto funzionale per una maggiore vascolarizzazione e ossigenazione dei muscoli, e soprattutto, del cervello, consentendo a quest'ultimo di funzionare più efficacemente e rapidamente nelle fasi di decisionali. Il significativo aumento della frequenza cardiaca mantenuto per periodi molto prolungati rappresenta però sicuramente esso stesso un evento stressante durante la competizione, e non solo un indice di stress. L'incremento della frequenza cardiaca risulta inoltre collegato all'aumento della temperatura corporea anche senza aumento di intensità di esercizio fisico ed è valutato in circa 25 battiti per ogni grado di incremento. Qualora un atleta viva questa condizione

per un tempo prolungato, aumenta il rischio di commettere errori a causa dell'insorgenza precoce della fatica, rendendo molto pericolosa questa situazione.

Sempre collegato agli aspetti cardiovascolari, un altro indice psicofisiologico considerato nell'ambito motorio-sportivo, e quindi anche nell'automobilismo, è la variabilità della frequenza cardiaca (*Heart Rate Variability*: HRV). Fra un battito cardiaco e l'altro, infatti, il tempo non è costante, ma cambia in risposta a fattori quali ritmo del respiro, stati emozionali, stress, rilassamento, pensieri. In generale, un individuo in salute mostra un buon grado di variabilità della frequenza cardiaca, segnale di un efficace adattamento psicofisico alle diverse situazioni. Un' elevata variabilità della frequenza risulta dunque associata ad una buona salute cardiaca e, nello sport, a migliori prestazioni, mentre periodi di stress mentale tendono a ridurla.

Per quanto riguarda gli aspetti fisiologici collegati ai processi cognitivi, gli studi più recenti utilizzano come metodica di ricerca l'analisi dei segnali elettrici corticali, registrati attraverso l'elettroencefalografia (EEG). L'analisi del segnale dell'EEG, effettuata sia nel dominio del tempo che in quello della frequenza, è stata spesso impiegata nella valutazione della variazione dello stato "interno" dei soggetti durante l'esecuzione di compiti cognitivi o senso-motori, con l'attribuzione di un significato psicologico delle diverse frequenze di attività corticale. La valutazione del carico di lavoro mentale, attraverso l'identificazione dello stato funzionale del cervello del pilota, potrebbe aiutare ad ottimizzare le attività di guida, oltre che a pianificare i ritmi di lavoro e di riposo, al fine di evitare errori pericolosi durante la guida. Collegato al concetto di carico mentale infatti vi è quello di fatica mentale, ritenuta un processo graduale e cumulativo associato ad incapacità di eseguire un ulteriore sforzo, sensazione generale di stanchezza, alterata prestazione mentale, efficienza e vigilanza ridotte.

Molte risultano le ricerche ancora possibili in questo campo e una approfondita conoscenza della condizione psicofisiologica del pilota può risultare utile per sviluppare efficaci programmi di allenamento del pilota stesso, ma anche aiutare anche chi progetta il suo equipaggiamento ad adeguare le possibili soluzioni tecniche dei prodotti alle diverse tipologie di necessità e bisogni da soddisfare.

3. SVILUPPO DI UNA TUTA RACING

Lo sviluppo di una nuova tuta nasce dall'idea di lanciare sul mercato un prodotto diverso da quelli presenti in gamma e in commercio ma deve tenere conto dell'utilizzo finale, cioè le competizioni sovraintese dalle specifiche federazioni automobilistiche, ovvero l'obbligo di indossare abbigliamento omologato: non può dunque prescindere da quelle che sono le caratteristiche imposte dagli standard omologativi che regolamentano nei metodi di prova, nei requisiti di prestazione e nei parametri di progettazione, gli indumenti di protezione contro il calore e la fiamma destinati ai conducenti di gare automobilistiche.

Le caratteristiche del capo devono quindi tener conto di esigenze commerciali ma soprattutto essere in accordo con i regolamenti. Vista questa necessità, è opportuno procedere con lo sviluppo tecnico della tuta seguendo i punti prescritti dalla norma: questa analisi risulterà fondamentale nella applicazione dei requisiti essenziali di salute e sicurezza previsti dalla direttiva 89/686/CEE per gli indumenti che hanno come principale funzione quella di proteggere l'utilizzatore da potenziali rischi durante le condizioni prevedibili di impiego.

Lo sviluppo di una tuta però non può prescindere da tutti quegli aspetti economici che la coinvolgono e che la completano come prodotto: il prezzo di vendita e il suo posizionamento sul mercato andranno ad influire sul costo e quindi sulla scelta di materiali, caratteristiche modellistiche, decorazioni e fasi di lavorazione; il sistema di pianificazione e controllo assieme al Marketing all'interno della azienda dettano a livello di prodotto la linea da seguire in termini di tipologia, quantità di colori e di taglie, tempi di lancio e di permanenza sul mercato. Dal punto di vista tecnico queste informazioni faranno da corollario alle scelte prese in fase di sviluppo ma non saranno fondamentali e, nel caso specifico della trattazione, verranno tralasciate.

3.1 COS'È UNA TUTA RACING

Una tuta Racing è un capo d'abbigliamento che copre tutto il corpo dell'indossatore a partire dal collo e fino ai polsi e alle caviglie. La tuta costituisce lo strato ignifugo più esterno dell'equipaggiamento indossato dal pilota, sotto il quale egli è tenuto ad utilizzare un sottoindumento omologato come biancheria intima, infiammabile e con precise caratteristiche. La tuta rappresenta l'indumento che maggiormente lo protegge dalla trasmissione di calore in caso di incendio durante un incidente.

La costruzione in un pezzo unico è obbligatoria per ottenere l'omologazione FIA, mentre la variante in due pezzi (giacca e pantalone) è ammessa solo secondo ciò che viene prescritto dalla fondazione SFI: in entrambi i casi deve garantire la completa copertura dell'utilizzatore.

Dal punto di vista manifatturiero, la tuta è costituita da uno strato o dall'assemblaggio di più strati di tessuti ignifughi. Le stratificazioni possono essere molteplici all'interno dello stesso capo e differire in termini di numero e tipologia di strati. Il capo presenta preferenzialmente sul davanti un sistema di chiusura tipo lampo per far sì che possa essere indossato agevolmente e chiuso in maniera sicura. La zip parte dal fondo del cavallo e termina in corrispondenza della base del collo coperto da un colletto con chiusura a strappo; polsi e caviglie in maglia garantiscono che le maniche e le gambe del pantalone avvolgano completamente polsi e caviglie in maniera salda e confortevole.

L'indumento può presentare tasche inserite o applicate e in vita una cintura, caratteristiche del tutto accessorie. Parti funzionali del capo sono al contrario i dispositivi di estrazione (maniglie), posizionati a livello delle spalle, che possono essere progettati con modalità di realizzazione diverse e la cui presenza è indispensabile affinché la tuta possa essere considerata conforme dal punto di vista omologativo. Decorazioni come profili di tessuto, ricami e stampe sono solitamente aggiunti per scopi del tutto estetici ma risultano parte integrante dell'insieme dei materiali costituenti il capo.

Ogni modello di tuta presenta materiali, specifiche progettuali e soluzioni modellistiche differenti che hanno il preciso obiettivo però di dar forma ad un strumento di protezione.

La tuta infatti ha come principale funzione la protezione contro calore e fuoco in caso di incendio del veicolo ponendosi come barriera alle fiamme e al calore convettivo, quando le temperature possono raggiungere anche i 1000 °C e il flusso termico (velocità dell'energia termica trasferita per unità di superficie) varia tra i 60 e gli 80 kW/m².

Considerando [12] 36,5 °C la temperatura normale di un uomo, a 44°C questo può iniziare a sentire dolore e la pelle inizia ad essere danneggiata; a 48°C la pelle subisce una lesione del tipo di ustione di primo grado mentre a 55°C questa può risultare in un'ustione di secondo grado. Con un flusso di calore pari a 3- 5 kW/m², la pelle di un uomo viene danneggiata dopo pochi secondi. La presenza di fiamme, calore radiante, liquidi caldi e sostanze metalliche fuse rendono l'incendio di un veicolo molto pericoloso per l'uomo.

3.2 ANALISI ESIGENZIALE-PRESTAZIONALE

Tralasciando tutte le fasi di sviluppo di un prodotto trattate in maniera generale nel secondo capitolo, in questa parte verrà trattata la fase di progettazione e sviluppo tecnico di una tuta con un approccio di analisi esigenziale-prestazionale che schematizza e fissa le scelte progettuali con cui rispondere alle diverse esigenze. La molteplicità di queste permette dunque di attuare strategie per ogni tipologia di prodotto, applicando selettivamente soluzioni tecniche in base al livello di prodotto, definito da posizionamento, prezzo, *target cost* ed eventuale specifico utente.

L'insieme di esigenze elencate nei capitoli successivi, sono di carattere del tutto generale e hanno l'obiettivo di tracciare le principali linee guide di progettazione: esse non tengono conto di ulteriori e particolari richieste che talvolta l'azienda deve fronteggiare per alcune tipologie di clienti. Ogni esigenza verrà approfondita e commentata rispetto a quelle che sono le strategie attualmente utilizzate in azienda, gli studi fatti a riguardo e le normative che regolano i test eseguiti.

Il tecnico preposto allo sviluppo del prodotto può avvalersi in maniera efficiente dei punti elencati per delineare le caratteristiche dell'indumento da sviluppare così da non perdere di vista quelli che sono i suoi principali attributi.

La tabella seguente [Tab. 3-1] schematizza un possibile sistema di esigenze del prodotto, articolando quelle più generali (prima colonna) in specifici sottolivelli, che ne precisano gli attributi.

Tabella 3-1: Sistema di esigenza di una tuta Racing

ESIGENZE			
1. PROTEZIONE DA FUOCO E TRASMISSIONE DI CALORE IN CASO DI INCENDIO	1.1 CONFORMITÀ ALLO STANDARD FIA 8856-2000	1.1.1 DESIGN CONFORME	1.1.1.1 STRUTTURA BASE
			1.1.1.2 SISTEMI DI CHIUSURA
			1.1.1.3 CUCITURE STRUTTURALI
			1.1.1.4 ESTRATTORI
			1.1.1.5 QUADRETTATURA
			1.1.1.6 TASCHE
			1.1.1.7 BANDE ELASTICHE
			1.1.1.8 RICAMI ED ETICHETTE
		1.1.2 PRESTAZIONI ADEGUATE	1.1.2.1 RESISTENZA DEI MATERIALI E DEL FILO CUCRINO ALL'ESPOSIZIONE ALLA FIAMMA
			1.1.2.2 RESISTENZA ALLA TRASMISSIONE DI CALORE DEGLI ASSEMBLAGGI
	1.1.2.3 RESISTENZA MECCANICA DEGLI ASSEMBLAGGI CHE COMPONGONO IL CAPO DOPO L'ESPOSIZIONE ALLA FIAMMA		
	1.1.2.4. RESISTENZA A TRAZIONE DELLE CUCITURE		
	1.1.2.5 STABILITÀ DIMENSIONALE AL LAVAGGIO AD ACQUA O A SECCO		
	1.2 CONFORMITÀ AL PROGRAMMA SFI SPECIFICATION 3.2		1.2.1 DESIGN E COSTRUZIONE CONFORME
	1.2.2 PRESTAZIONI ADEGUATE	1.2.1.2 RESISTENZA DELLE PROPRIETÀ DI IGNIFUGITÀ AI LAVAGGI E AL TEMPO	
		1.2.1.3 UNIFORMITÀ DI PROTEZIONE	
		1.2.2.1 CLASSIFICAZIONE DEL COMPLETO DA PILOTA IN BASE AL TPP	
		1.2.2.2 RESISTENZA ALLA FIAMMA	
		1.2.2.3 RESISTENZA DEL FILO CUCIRINO AL CALORE	
		1.2.2.4 RESISTENZA DELLA ZIP AL CALORE	
1.2.2.5 RESISTENZA AL RESTRINGIMENTO DEGLI ASSEMBLAGGI DOVUTO AL CALORE			
2. RESISTENZA E DURABILITÀ		2.1 RESISTENZA ALLO STRAPPO E ALLA TRAZIONE	
	2.2 RESISTENZA ALL'INVECCHIAMENTO DA RAGGI UV		
	2.3 RESISTENZA ALL'USURA		
	2.4 DURABILITÀ AI LAVAGGI		
3. COMFORT	3.1 COMFORT TERMOFISIOLOGICO		
	3.2 COMFORT SENSORIALE		
	3.3 COMFORT ERGONOMICO		
	3.4 COMFORT PSICOLOGICO		
4. ESTETICA	4.1 GRAFICA		
	4.2 PERSONALIZZAZIONE		
	4.3 BASSA FORMAZIONE DI PILLING		
	4.4 RESISTENZA DELLE TINTURE		

3.2.1 Protezione da fuoco e trasmissione di calore in caso di incendio

La protezione dal fuoco e dalla trasmissione di calore è regolamentata dallo standard FIA 8856-2000 e della *SFI Specification 3.2*. In base alla tipologia di gara a cui si partecipa a livello internazionale una sola di queste o entrambe possono essere richieste per quanto riguarda l'abbigliamento indossato, perciò è importante considerarle entrambe come possibili esigenze del prodotto a catalogo. La scelta di evitare l'una o l'altra può essere dovuta ad una strategia di mercato differenziata o a non conformità del prodotto rispetto ai requisiti richiesti.

Le caratteristiche descritte nelle norme possono essere considerate molto utili nella precisazione delle esigenze e dei requisiti, ovvero strumenti indispensabili per la progettazione, vista la assoluta necessità di avere abbigliamento omologato per poter gareggiare e quindi rendere il prodotto vendibile.

L'esigenza di protezione da fuoco e dalla trasmissione del calore in caso di incendio durante un incidente viene dunque specificata come conformità allo standard e poi declinata in termini di caratteristiche di design generale, prestazioni ed etichettatura.

Nel raggiungimento dell'obiettivo di protezione, è indubbia la possibilità di poter affiancare alla conformità dei due regolamenti, ulteriori soluzioni tecniche non contemplate dagli standard omologativi, ma nel caso in cui ciò non avvenisse, l'operato risulterebbe comunque adeguato.

Le proprietà richieste ad un capo d'abbigliamento per essere adatto alla protezione contro il calore e la fiamma sono [13]:

- un alto livello di ignifugità dei tessuti che lo compongono, in modo da non contribuire alla combustione e all'incremento delle lesioni di chi lo indossa;
- il mantenimento di una barriera che eviti la diretta esposizione al pericolo e dunque una buona integrità strutturale in termini di cuciture e un basso livello di degradazione termica del tessuto, che durante la combustione non deve sciogliersi, rilasciare detriti e residui catramosi, formare materiale carbonioso fragile che può facilmente rompersi ed esporre alle fiamme l'utilizzatore;
- un basso livello di ritiro dei tessuti, così da mantenere uno strato di aria sufficiente a garantire un buon isolamento termico, riducendo il trasferimento di calore per un tempo che possa permettere la fuga di coloro che sono coinvolti in un incendio prima che i danni da bruciatura possano occorrere;
- possibilità di lavaggio senza compromettere l'ignifugità e le proprietà del capo, permettendo l'eliminazione di contaminanti infiammabili;
- l'oleo-repellenza per quanto riguarda la protezione da contaminanti infiammabili come carburanti e solventi.

Facilità e velocità di combustione, tasso di rilascio termico, caratteristiche di fusione e di ritiro, emissione di fumo e gas tossici sono proprietà importanti del tessuto e ne determinano la loro efficacia in termini di protezione dai rischi di incendio: la selezione dei materiali dunque deve tenere conto di tutte queste caratteristiche.

3.2.1.1 Conformità allo standard FIA 8856-2000

DESIGN

La tabella che segue [Tab. 3-2] sintetizza l'insieme di esigenze precedentemente schematizzato, prendendo in considerazione solo la parte riferita alla progettazione del design del capo in conformità allo standard FIA 8856-2000 [6], completata dai rispettivi requisiti.

Tabella 3-2: Esigenze e requisiti di design in conformità allo standard FIA 8856-2000

ESIGENZE			REQUISITI	
1. PROTEZIONE DA FUOCO E TRASMISSIONE DI CALORE IN CASO DI INCENDIO	1.1 CONFORMITÀ ALLO STANDARD FIA 8856-2000	1.1.1 DESIGN CONFORME	1.1.1.1 STRUTTURA BASE	Un pezzo unico che copra dal collo fino a polsi e caviglie Mono o mutistrato
			1.1.1.2 SISTEMI DI CHIUSURA	Garantire unione salda Zip con denti metallici coperti internamente ed esternamente
			1.1.1.3 CUCITURE STRUTTURALI	Garantire integrità del capo
			1.1.1.4 ESTRATTORI	Maniglie utilizzabili che non entrino a contatto con il sedile
			1.1.1.5 QUADRETTATURA	Stabile costruzione del capo
			1.1.1.6 TASCHE	Soddisfare le prestazioni del capo
			1.1.1.7 BANDE ELASTICHE	Coperte da strato ignifugo

L'idea è quella di completare il concetto di tuta [Fig.3-1] con gli elementi essenziali di progettazione che il capo deve avere per essere conforme ai parametri omologativi.

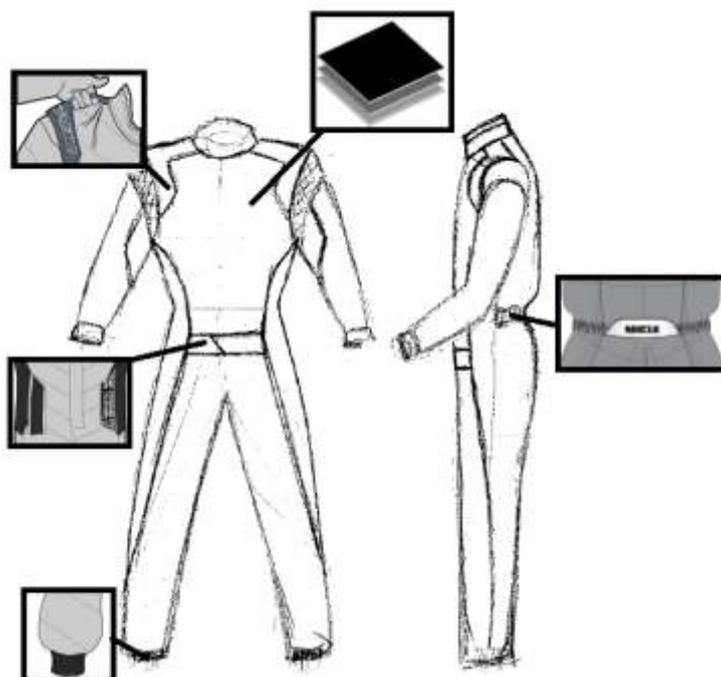


Figura 3-1: Tavola di progettazione per una tuta Racing

Di seguito verranno ripercorsi i punti elencati in tabella dalla norma, integrando a questi la terminologia e le definizioni previste dallo standard; viene esclusa volutamente la trattazione dei sistemi di raffreddamento perché nel caso specifico dell'azienda Sparco poco utilizzati.

1.1.1.1 STRUTTURA BASE	
FIA 8856 -2000 5. Design 5.1 INDUMENTO ESTERNO	<i>La tuta deve essere costituita da un unico pezzo e deve coprire interamente chi la indossa a partire dal collo, aderendo in maniera salda a polsi e caviglie.</i>
FIA 8856-2000 3. TERMINIE DEFINIZIONI	<p>3.1 Indumento <i>Singolo indumento che può essere costituito da uno o più strati.</i></p> <p>3.2 Indumento esterno <i>Indumento costituito da un pezzo solo che viene indossato come strato più esterno sopra i sottoindumenti e che è progettato per coprire interamente l'utilizzatore ad eccezione della testa, delle mani e dei piedi.</i></p>

La norma vincola in questo modo la progettazione della tuta come un pezzo solo, unicamente per questioni di protezione: un distacco tra la parte superiore e quella inferiore renderebbe vulnerabile la zona tra le due parti ed esporrebbe l'utente a possibili ustioni. Un capo d'abbigliamento costituito da due pezzi, una giacca e un pantalone, garantirebbe un maggior comfort, facilitando non solo le operazioni di indossaggio e rimozione del capo ma anche il movimento in fase di utilizzo. L'abbassamento del grado di protezione in questo caso sarebbe però di entità inaccettabile e quindi la costruzione della tuta come un unico pezzo risulta plausibile e ammissibile.

La presenza di uno o più strati di tessuto a costituire il corpo della tuta è una scelta dettata in primo luogo dalla necessità di rispettare i requisiti imposti dallo standard e dalle caratteristiche che vogliono essere impartite al capo.

I tessuti che vengono generalmente utilizzati e che principalmente riescono ad integrare prestazioni e funzionalità sono i tessuti cosiddetti tecnici, che nella loro progettazione (dalla selezione della fibra al finissaggio) vengono studiati al fine di ottenere le proprietà desiderate, ovvero protezione, comfort, durata e solo alla fine estetica. La caratteristica eccezionale dei tessuti tecnici è l'uso di innumerevoli varietà di materie prime, materiali, processi, prodotti e applicazioni per la loro produzione.

La tuta dunque può essere monostrato e quindi costituita da un unico livello di tessuto, anche di tipologie diverse unite tra loro, o multistrato, quindi formata dalla stratificazione di più tessuti a formare un assemblaggio. La tuta entra a contatto con l'ambiente esterno, nei confronti del quale dovrà manifestare alcune caratteristiche e un ambiente interno, il corpo dell'utilizzatore, con il quale dovrà interagire in maniera del tutto diversa: la combinazione di più tessuti in assemblaggio permette di giocare sul ruolo che ognuno di essi adempirà, rispondendo alle diverse esigenze richieste ad un unico prodotto.

1.1.1.2 SISTEMI DI CHIUSURA	
FIA 8856 -2000 5. Design 5.1 INDUMENTO ESTERNO	<i>Una chiusura a zip deve essere costituita da denti larghi in metallo. Questi devono essere coperti dal corpo della tuta nel lato più interno così da non essere in diretto contatto con i sottoindumenti.</i>
FIA 8856-2000 3. TERMINIE DEFINIZIONI	3.6 Sistemi di chiusura <i>I sistemi di chiusura comprendono più di un metodo nel garantire che le aperture nel capo risultino chiuse in maniera sicura (ad es. una zip coperta da un flap fissato attraverso una allacciatura a strappo).</i>

La principale apertura presente sul capo è quella posta sul davanti, fondamentale per indossare e rimuovere il capo, a partire dal cavallo e proseguendo fino in corrispondenza del collo. Questa viene chiusa generalmente attraverso una zip, coperta sul dritto da un flap copri e sul rovescio da un flap sottolampo, come richiesto dalla norma, entrambi costituiti dallo stesso assemblaggio di materiali del corpo della tuta; il coprilampo viene inoltre deve essere fissato sul quest'ultimo con una allacciatura a strappo tipo Velcro, per garantire la salda copertura della zip.

La lampo garantisce una chiusura sicura affinché non si creino aree vulnerabili. Per evitare uno spessore in corrispondenza del collo, il sistema di chiusura costituito da lampo, sottolampo e coprilampo viene interrotto a livello dello scollo, dove viene attaccato il colletto che presenta sui lembi aperti un'allacciatura a strappo. L'allacciatura tipo Velcro viene anche utilizzata sulle estremità della cintura in corrispondenza della vita per permetterne la chiusura. In casi particolari, come quello di tute destinate all' utilizzo da parte di meccanici e non di piloti, possono essere presenti delle aperture in altri punti della tuta, come nel fondo gamba: anche in questo caso devono presentare la stessa logica costruttiva di quelle elencate e garantire una salda chiusura rimanendo coperti da uno strato ignifugo.

1.1.1.3 CUCITURE STRUTTURALI	
FIA 8856 -2000 5. Design 5.1 INDUMENTO ESTERNO	<i>Tutte le cuciture strutturali devono essere realizzate in modo tale da garantire l'integrità del capo.</i>
FIA 8856-2000 3. TERMINIE DEFINIZIONI	3.7 Cucitura <i>Giunzioni di due lembi di materiale che risultano permanentemente attaccati nel capo attraverso cuciture o qualsiasi altro metodo.</i> 3.8 Cucitura strutturale <i>Cuciture che tengono assieme il capo e che se rotte andrebbero ad esporre i sottoindumenti e a ridurre il livello di protezione.</i>

La tuta vista dal punto di vista strettamente modellistico è l'insieme di pezzi che attraverso l'operazione di cucitura vengono uniti a formare il capo finito. Le cuciture che uniscono pezzi separati sono cuciture strutturali. Il loro numero varia in base al numero di pezzi, il quale è il risultato di scelte dovute al design, alla vestibilità, alle modalità di cucitura, alla resa finale del capo ma anche alle esigenze di tipo produttivo. Un numero maggiore di cuciture e quindi di pezzi separati darà origine ad un capo più pesante ma nel complesso potrà garantire buone efficienze in fase di taglio e confezione oltre ad una vestibilità migliorata.

Il taglio dei pezzi viene eseguito tendenzialmente per mezzo di macchine da taglio automatiche secondo quello che viene chiamato piazzamento, cioè il posizionamento virtuale dei pezzi sul tessuto: un maggior numero di pezzi permette una maggiore efficienza, poiché i pezzi se abbastanza piccoli, andranno ad occupare un'area maggiore del tessuto con ovvio risparmio di stoffa. Ovviamente non vanno trascurate alcune regole basilari e cioè che la posizione dei pezzi rispetto al dritto filo del tessuto (senso ordito) dovrà essere mantenuta per quelle parti della tuta dovranno rimanere dimensionalmente stabili. I tagli lungo la direzione di ordito infatti sono meno suscettibili ad allungamento rispetto a quelli in direzione di trama: i primi, già durante il processo di tessitura sono mantenuti più fermi (a differenza di quelli trama che si muovono) e la loro struttura risulta intensificata grazie ai fili di trama che interlacciati a questi, ne incrementano la stabilità. Inoltre la densità di fili di ordito (numero di filo/cm³) è maggiore rispetto a quelli di trama e questo ne incrementa la robustezza.

Il filo utilizzato per la realizzazione di cuciture strutturali è un filo di titolo tex 80 di composizione 100% meta-aramide. Le cuciture strutturali possono unire solo alcuni pezzi di tessuto o tutto l'assemblaggio: è importante tener conto soprattutto nell'unione di stratificazioni composte da tessuti diversi, che queste abbiano peso simile, per garantire una buona struttura alla cucitura.

1.1.1.4 ESTRATTORI	
FIA 8856 -2000 5. Design 5.1 INDUMENTO ESTERNO	<i>Maniglie destinate al sollevamento dell'indossatore devono essere incorporate al capo sulla parte superiore di ciascuna spalla. Si raccomanda che queste siano posizionate in modo da non essere a contatto con il sedile.</i>

Ogni tuta sulla parte superiore della spalla presenta quelli che più comunemente prendono il nome di estrattori, maniglie in tessuto che vanno a sovrapporsi al corpo della tuta e che vengono ben saldate su di essa. La loro funzione è quella di agevolare in caso di soccorso durante un incidente il personale e i commissari che dovranno estrarre il pilota dall'auto insieme al sedile, al fine di ridurre possibili complicanze. Gli estrattori vengono interpretati dai vari produttori in maniera differente per quanto riguarda forme e posizione: nel caso specifico delle tute Sparco fondamentalmente le tipologie di estrattori sono:

- a spallina a forma di T o L, che cucite sulle estremità permettono l'ingresso della mano nella maniglia;
- ad aletta, posizionata sotto la parte superiore del giromanica: risulta leggermente nascosta ma completamente funzionale;

- a maniglia orizzontale o verticale sul davanti o leggermente sul dietro della tuta in modo tale che venga garantita la possibilità di presa.

1.1.1.5 QUADRETTATURA	
FIA 8856-2000 5. Design 5.1 INDUMENTO ESTERNO	<i>Lo strato esterno del capo se costituito da filamento continuo deve essere trapuntato diagonalmente o a croce con una distanza massima tra le cuciture di 10 cm. È permesso saltare una cucitura nella vicinanza dei ricami.</i>

Per trapuntatura si intende la realizzazione di cuciture passanti che tengono assieme gli strati di tessuto che compongono l'assemblaggio principale della tuta. La grafica può assumere diverse forme e la sua funzione è sia quella di evitare che gli strati più interni durante l'indossaggio vengano trascinati verso il basso, garantendo quindi una costruzione più stabile, sia quella di aumentare le prestazioni dal punto di vista della protezione alla trasmissione del calore, consentendo una maggiore circolazione dell'aria, il cui ruolo, come verrà approfondito, risulta fondamentale.

Con filamento continuo si identificano fibre uniche, di piccolo diametro e di lunghezza indefinita. Due o più di questi tramite ritorcitura vanno a costituire i filati continui per la realizzazione del tessuto: le quadrettature, benché la loro funzione non venga precisamente dichiarata, vanno a creare dei punti di discontinuità sullo strato esterno della tuta, utile per il rallentamento della propagazione della fiamma.

1.1.1.6 TASCHE	
FIA 8856 -2000 5. Design 5.1 INDUMENTO ESTERNO	<i>Le tasche (in particolare le aperture delle tasche che attraversano la tuta) devono essere costruite in modo tale da soddisfare i requisiti prestazionali del capo.</i>

La presenza di tasche sul capo non è indispensabile ma spesso viene richiesta soprattutto per i meccanici che indossano abbigliamento omologato e che per esigenze operative ne necessitano.

1.1.1.7 BANDE ELASTICHE	
FIA 8856 -2000 5. Design 5.1 INDUMENTO ESTERNO	<i>È possibile incorporare elastici che non soddisfano i requisiti prestazionali del capo, purché siano coperti e non in diretto contatto con il sottoindumento. Un'eccezione è permessa a livello della caviglia, dove l'elastico serve a mantenere distesa la gamba della tuta. L'uso di un elastico scoperto, incorporato nella cucitura della caviglia in maglia e la parte inferiore della tuta, è autorizzato se il contatto coinvolge esclusivamente la calza e l'interno della scarpa.</i>

Per motivi di vestibilità si rende spesso utile inserire dell'elastico a livello della vita che va a soddisfare sia la necessità di adattarsi alla circonferenza di questa, sia di far aderire la tuta che

proprio in quel punto può risultare un po' abbondante, migliorando così il comfort in posizione di guida. Spesso la composizione di questi nastri (poliestere, cotone, gomme naturali) non è ignifuga e quindi si rende necessario ricoprirli con un tessuto che soddisfi i requisiti richiesti per essere utilizzato. Spesso si sceglie di infilarlo tra fodera e tessuto esterno della tuta oppure di ricoprirlo di un materiale leggero tipo maglia che non impedisca la sua funzionalità.

Nastri elastici realizzati con fibre aramidiche risultano invece conformi e utilizzabili scoperti, permettendo una maggiore libertà di utilizzo.

1.1.1.8 RICAMI ED ETICHETTE	
FIA 8856 -2000 5. Design 5.1 INDUMENTO ESTERNO	<p><i>I ricami cuciti direttamente sul capo devono essere realizzati solo sul tessuto esterno. Etichette (istruzioni di lavaggio, taglia, etc.) in diretto contatto con i sottoindumenti devono essere realizzati in modo tale da soddisfare i requisiti prestazionali del capo. Il materiale di supporto (o di sostegno) dell'etichetta applicata deve essere realizzato in maniera tale da soddisfare i requisiti prestazionali del capo.</i></p>
FIA 8856-2000 3. TERMINIE DEFINIZIONI	<p>3.9 Etichetta o badge <i>Superficie sulla quale sono cucite o stampate iscrizioni informative o pubblicitarie.</i></p>

Sulle tute la maggior parte delle decorazioni (loghi, sponsor, immagini) sono realizzate attraverso ricami diretti, etichette applicate e negli ultimi anni attraverso stampe tipo transfer digitali, transfer serigrafici o serigrafie. Il regolamento raccomanda che i ricami diretti o ricami su etichette applicate siano realizzati con filato ignifugo (la conformità non viene comunque verificata) e che debbano essere eseguiti sul solo strato esterno della tuta per garantire un maggior isolamento termico. Il supporto delle etichette applicate e il filo con cui vengono cucite (non è possibile attaccarle tramite incollaggio e non è possibile poi rimuoverle) deve essere conforme alla norma imposta da FIA per garantire il giusto livello di ignifugità per evitare che la combustione dell'etichetta possa inficiare l'efficienza della tuta.

Recentemente la stampa ha sostituito in gran parte la richiesta di ricami tradizionali per questioni estetiche, di costo e di leggerezza. La stampa benché non venga citata dal regolamento viene testata per verificare la conformità alla fiamma su tutti i tessuti che compongono la tuta su cui si prevede di applicarla. La miscola utilizzata, la qualità di stampa, la capacità di ancoraggio al supporto tessile, la resistenza ai lavaggi sono solo alcune delle caratteristiche di cui bisogna tenere conto nell' utilizzo di queste sui capi ma le possibilità grafiche date da questo strumento e la possibilità di utilizzarle per personalizzazioni su capo finito, senza attività di preparazione, rimangono un'arma a suo favore.

Le etichette con le istruzioni di lavaggio, la taglia, le principali note informative ma anche con indicazioni del laboratorio di confezione o del produttore e del lotto di produzione sono spesso incluse nella confezione del capo e vengono escluse da test di conformità alla fiamma solo nel caso in cui non siano a contatto né con i sottoindumenti né con l'ambiente esterno. Per evitare di

utilizzare nastri ignifughi con inutili costi aggiuntivi, si tende ad usare etichette stampate o tessute che vengono poi cucite su parti che sia internamente che esternamente risultano coperte, ad esempio sul sottolampo.

PRESTAZIONI

I requisiti prestazionali del capo [6] vengono valutati essenzialmente in termini di:

- comportamento al contatto con il fuoco dei principali materiali, attraverso la misurazione delle proprietà di propagazione limitata della fiamma,
- di protezione dal calore, attraverso la determinazione della trasmissione di calore durante l'esposizione ad una fiamma,
- di stabilità dimensionale al lavaggio ad acqua e a secco
- di resistenza meccanica, dopo esposizione alla fiamma, degli assemblaggi
- di resistenza a trazione delle cuciture strutturali

Lo standard FIA 8856-2000 specifica le procedure di prova riferendosi ai metodi stabiliti dalle norme tecniche elaborate dall'ISO, l'organizzazione internazionale per la standardizzazione, che emette norme per tutti i campi tecnici, elaborando criteri, parametri e regole che possono essere applicate da tutti in modo uniforme e coerente.

La tabella che segue [Tab. 3-3] sintetizza l'insieme di esigenze precedentemente schematizzato, prendendo in considerazione solo la parte riferita alle prestazioni del capo in conformità allo standard FIA 8856-2000, completata dai rispettivi requisiti.

Tabella 3-3: Esigenze e requisiti prestazionali in conformità allo standard FIA 8856-2000

		ESIGENZE	REQUISITI			
1.	PROTEZIONE DA FUOCO E TRASMISSIONE DI CALORE IN CASO DI INCENDIO	1.1 CONFORMITÀ ALLO STANDARD FIA 8856-2000	1.1.2 PRESTAZIONI ADEGUATE	1.1.2.1 RESISTENZA DEI MATERIALI E DEL FILO CUCIRINO ALL' ESPOSIZIONE ALLA FIAMMA	CONFORMITÀ ALLA ISO 15025	-no raggiungimento bordi superiori -post-combustione= 0 s -post-incandescenza= 0 s -no detriti -no formazione di foro
				1.1.2.2 RESISTENZA ALLA TRASMISSIONE DI CALORE DEGLI ASSEMBLAGGI	CONFORMITÀ ALLA ISO 9151	HTI ₂₄ ≥ 11 s
				1.1.2.3 RESISTENZA MECCANICA DEGLI ASSEMBLAGGI DOPO L'ESPOSIZIONE ALLA FIAMMA	CONFORMITÀ ALLA SPECIFICA PROVA DESCRITTA DALLO STANDARD FIA 8856-2000 Par.7.3	No rottura dello strato più interno dell'assemblaggi costituenti il capo.
				1.1.2.4 RESISTENZA A TRAZIONE DELLE CUCITURE	CONFORMITÀ ALLA NORMA ISO 13935-1.	Massima forza a rottura = 300 N
				1.1.2.5 STABILITÀ DIMENSIONALE AL LAVAGGIO AD ACQUA O A SECCO	CONFORMITÀ ALLA NORMA ISO 5077 E/O ISO 3175-1	Variazione dimensionale massima ± 3% (tessuti a maglia ± 5%)

Il produttore deve sottoporre il modello del prodotto ad uno dei laboratori approvati da FIA che possono eseguire i test richiesti dallo standard FIA e che alla conclusione di questi rilasceranno un test report con tutti i risultati delle prove eseguite secondo il modello fornito da FIA. Il laboratorio per poter procedere con l'esecuzione delle prove necessita di un capo completo, un elenco dei materiali e la combinazione di questi con precise indicazioni di dove sono posizionati sul capo. I campioni fisici comprendono tutti i materiali in quantità sufficienti per essere testati singolarmente e in tutte le combinazioni differenti poste sul capo. I test di resistenza alla fiamma e di trasmissione di calore devono essere eseguiti tal quali e dopo pre-trattamento, cioè 15 cicli di lavaggio in accordo con la ISO 6330, usando la procedura specificata dal produttore o dalla procedura 2A se non diversamente specificata, e 15 cicli di lavaggio a secco in accordo con la ISO 3175-1.

1.1.2.1 PROPAGAZIONE LIMITATA DI FIAMMA	
FIA 8856-2000 7. TEST	<p>7.1 <i>Le proprietà di resistenza alla fiamma dei materiali deve essere testata in accordo con la norma ISO 15025: Procedura A, sia prima che dopo il pre-trattamento.</i></p> <p>7.4 <i>La resistenza del cucirino all'esposizione alla fiamma viene testata attraverso il metodo descritto nella norma ISO 15025, procedura A, usando dei provini dell'assemblaggio con una cucitura verticale che scende in centro. L'accensione della fiamma deve incidere sulla linea della cucitura</i></p>
FIA 8856-2000 8. REQUISITI PRESTAZIONALI	<p>8.1 <i>Quando ogni materiale usato nella confezione della tuta è testato secondo 7.1, il tempo di persistenza della fiamma non deve superare i 2 secondi. Non ci devono essere detriti incandescenti o sciolti e la formazione di fori.</i> <i>I seguenti materiali sono esclusi:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - il filo dei ricami posto che sia cucito solo sullo strato più esterno dell'assemblaggio della tuta - etichette della tuta non in diretto contatto con i sottoindumenti o con l'ambiente esterno - le chiusure a strappo - nastri elastici posto che siano coperti e non in diretto contatto con la pelle del pilota, con i sottoindumenti e con l'ambiente esterno <p>8.4 <i>Ogni filo cucirino utilizzato sugli assemblaggi costituenti il capo testato in conformità al 7.4, non deve fondere e dare tempi di post-combustione. Inoltre, i fili usati per le cuciture strutturali non devono rompersi.</i></p>
FIA 8856-2000 3. TERMS AND DEFINITION	<p>3.10 Foro <i>Una rottura sul provino di dimensioni 5x5 mm causata dallo scioglimento, dall'incandescenza e dalla fiamma. Se il foro è attraversato da altro materiale viene definito come discontinuo.</i></p>

L'importanza delle proprietà di resistenza al fuoco nei tessuti tecnici minimizza i rischi potenziali associati al coinvolgimento in un incendio, aumentando la protezione termica. In particolare

l'inibizione della propagazione della fiamma, riducendo il perimetro del fuoco, previene possibili danni ai materiali costituenti l'equipaggiamento e di conseguenza lesioni sul corpo di chi lo indossa.

La resistenza dei materiali alla fiamma viene valutata secondo la ISO 15025 [14], che norma la misurazione delle proprietà di propagazione limitata della fiamma di prodotto tessili quando sottoposti a una piccola fiamma definita. La norma specifica due procedimenti: il procedimento A di accensione superficiale, che è quello richiesto dalla norma FIA 8856-2000 e il procedimento B di accensione dal bordo inferiore.

Nel procedimento A, una fiamma lunga 25 ± 2 mm proveniente da un bruciatore a gas (i reagenti utilizzati possono essere butano o propano di qualità commerciale), preriscaldato e poi collocato in posizione orizzontale di funzionamento, viene applicata per 10 s alla superficie dei provini tessili orientati verticalmente e viene osservato e registrato:

- se qualche fiamma raggiunge il bordo superiore o uno dei bordi verticali del provino;
- il tempo di persistenza della fiamma;
- se l'incandescenza residua si sviluppa oltre la superficie di diffusione della fiamma (di solito la superficie carbonizzata) nell'area non danneggiata;
- il tempo di incandescenza residua;
- la formazione di detriti;
- se i detriti incendiano la carta da filtro (detriti ardenti), se applicabile;
- se si sviluppa un foro, e in quale/i strato/i nel caso di un provino multistrato.

La lunghezza della fiamma viene misurata come la distanza tra la punta dello stabilizzatore del bruciatore e l'estremità della parte gialla della fiamma, vista contro uno sfondo scuro. Il bruciatore è in grado di essere spostato da una posizione di riposo, dove la punta del bruciatore è ad almeno 75 mm dal provino, alla posizione operativa orizzontale contro il provino [Fig.3-2]

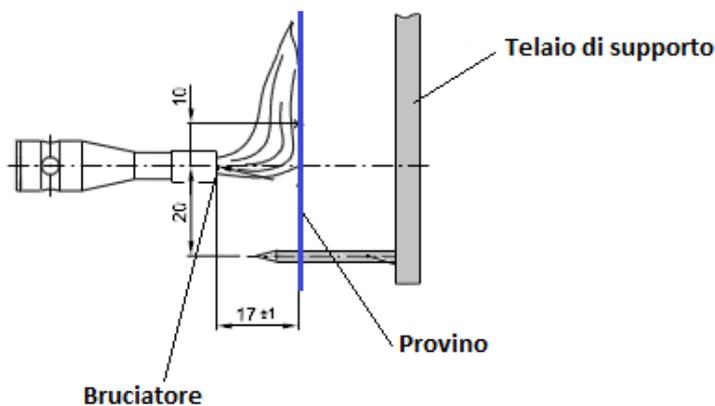


Figura 3-2: Posizione operativa nell'esecuzione del test (ISO 15025:2003, pag.5 Fig. 3 a)

I provini consistono in sei campioni di tessuto di dimensioni $(200 \pm 2) \times (160 \pm 2)$ mm che vengono distinti in due gruppi da tre distinti, l'uno perpendicolare all'altro, dove l'asse della sagoma identifica una volta l'ordito e una volta la trama del tessuto nel caso di tessuti ortogonali e a maglia.

Essi vengono montati sui dei perni lunghi un telaio [Fig. 3-3], costituito da una cornice rettangolare, che grazie ai distanziatori posti accanto a ciascuno dei quattro perni, permette di disporre il provino su un piano distante almeno 20 mm dalla struttura.

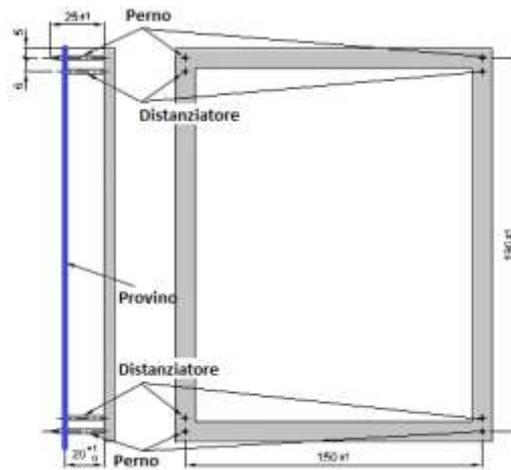


Figura 3-3: Telaio di supporto (ISO 15025:2003, Fig. 1)

Nel caso in cui le due superfici del campione siano visivamente diverse, ciascuna delle superfici deve essere sottoposta a prova mediante l'utilizzo di un gruppo di sei provini.

Il rapporto di prova [Fig. 3-4] include le seguenti informazioni:

Protective overall for automobile drivers. Limited flame spread		
Homologation	FIA 8856:2000	A
Test method	UNI EN ISO 15025:2017 Met. A + FIA 8856:2000 Par. 7.1	B
Specimens conditioning	24 h at (20±2)°C - (65±4)% R.H.	C
Operating conditions	(10 - 30)°C - (15 - 80)% R.H.	D
Specimens dimensions	(200 ± 2) mm x (160 ± 2) mm	E
Flame application time	10 s	F
Gas used	Propane	G
Ignition	superficial	H
Type of surface exposed to flame	Outer side	I
Test began on:	██████████	Test ended on: ██████████
Results for sample	██████████	UM result
Limited flame spread		

Figura 3-4: Rapporto di prova test di propagazione limitata alla fiamma

- A) indicazione dello standard di omologazione a cui il test si riferisce
- B) il metodo di prova utilizzato e il paragrafo dello standard FIA che richiede l'esecuzione del test
- C) lo stato di condizionamento del provino prima della prova ($T=20\pm 2$ °C, umidità relativa= $65\pm 5\%$ per 24 h)
- D) le condizioni ambientali di temperatura e umidità relativa nell'area in cui è eseguita la prova
- E) la dimensione del provino
- F) tempo di applicazione della fiamma
- G) il gas utilizzato per il bruciatore
- H) il metodo con cui è stata applicata la fiamma sul campione
- I) quale superficie è stata esposta, se il dritto o il rovescio del provino

I risultati suddivisi per i due gruppi di provini possono essere riassunti in una tabella come quella sottostante [Fig. 3-5]: la conformità del campione viene evidenziata dalla presenza di soli "No" e "0" nelle righe corrispondenti al requisito.

Provetta <i>Specimen</i>	1	2	3	1	2	3
Direzione <i>Direction</i>	Ordito <i>Warp</i>			Trama <i>Weft</i>		
Raggiungimento bordi superiore e/o verticale <i>Flaming to top or either side edge</i>	No	No	No	No	No	No
Post-combustione (s) <i>After-flame (s)</i>	0	0	0	0	0	0
Post-incandescenza (s) <i>After-glow (s)</i>	0	0	0	0	0	0
Detriti <i>Debris</i>	No	No	No	No	No	No
Detriti che incendiano la carta da filtro <i>Burning debris setting filter paper on fire</i>	No	No	No	No	No	No
Formazione di foro <i>Hole formatlon</i>	No	No	No	No	No	No

Figura 3-5: Sintesi risultati test di propagazione limitata alla fiamma nel rapporto di prova per un materiale di esempio

Entrambe le procedure descritte nella norma sono utilizzate per determinare se si verifica o meno la diffusione della fiamma al bordo del provino ed individuano in modo soddisfacente due gruppi di tessuti: quelli che producono ridotta o nessuna persistenza della fiamma e quelli che bruciano completamente. La prova di accensione anteriore (procedimento A) può essere considerata più efficace nel dare risultati omogenei rispetto alla prova di accensione dal bordo inferiore (procedimento B).

I materiali che dunque vengono sottoposti a questo test sono tutti i tessuti presenti sul capo, i diversi tessuti esterni, quelli che vengono posizionati come livelli intermedi e quelli utilizzati come fodera; vengono inoltre testati i polsini e le cavigliere, la zip, i fili utilizzati per le cuciture strutturali, quelli utilizzati per la quadrettatura o possibili impunture, e le stampe presenti sul capo.

Per tutti questi elementi è importante conoscere la composizione, la struttura, i processi di lavorazione. I tessuti e i componenti presenti sulla tuta sono molto eterogenei in termine di composizione fibrosa, costruzione, armatura, finissaggio ma alcuni caratteristici parametri possono essere valutati per definire la loro conformità e stimare le prestazioni di infiammabilità.

La composizione fibrosa risulta importante per tutti i tessuti presenti sulla tuta e per gli accessori. Le proprietà di ignifugicità di una fibra [15] dipendono essenzialmente dal comportamento del polimero di cui è composta: ad una specifica temperatura, chiamata di pirolisi (T_p), il polimero inizia il processo di pirolisi, un processo di decomposizione termochimica che porta alla formazione di sostanze liquide volatili e gas che, se infiammabili, in presenza di ossigeno e al raggiungimento della temperatura di combustione (T_c), danno avvio al suddetto processo, agendo come carburante. La

reazione di combustione è una reazione di ossidoriduzione esotermica che avviene attraverso un meccanismo di reazione a catena radicalica che rilascia una grande quantità di calore e luce.

Il modo in cui avviene la decomposizione e la natura dei prodotti che vengono generati dipende dalla natura chimica della fibra. In base al loro comportamento nei confronti della fiamma, si possono generalmente [15] distinguere fibre che sono ritardanti di fiamma e fibre resistenti al calore.

Le prime vanno a costituire tessuti che resistono a fonti di accensione definite e si accendono quando la fonte è presente ma poi si estinguono; le altre sono quelle che hanno strutture chimiche che non si modificano se non a temperature superiori ai 300 °C e formano un residuo carbonioso solido estremamente resistente alla fiamma, il *char*. Questo modifica il processo di combustione ritardando l'accensione, riducendo il rilascio di fumo e le velocità di combustione, oltre a fornire una barriera contro il flusso di calore e protettiva per il materiale stesso, evitandone un'ulteriore accensione.

L'ignifugità può essere valutata attraverso l'Indice del Limite di Ossigeno (ILO) più conosciuto come LOI, *Limited Oxygen Index*, cioè la concentrazione di ossigeno minima, espressa in percentuale, che supporta la combustione di un polimero: [15] se il LOI è maggiore di 25 la fibra viene definita come ritardante alla fiamma mentre superiore a 30 fibre resistenti al calore.

Dal punto di vista della loro struttura le fibre possono essere intrinsecamente ignifughe o chimicamente modificate. Le fibre intrinsecamente ignifughe più usate nell'ambito dell'abbigliamento possono essere suddivise nei seguenti gruppi: fibre composte da polimeri termoindurenti, aramidi, polimmidi, polibenzazoli e fibre acriliche pre-ossidate.

Nel caso specifico, le fibre maggiormente utilizzate sono le aramidi e in particolare la meta-aramide e la para-aramide, due delle più importanti poliammidi aromatiche, maggiormente conosciute con il nome commerciale dato dall'azienda DuPont, rispettivamente *Nomex*® e *Kevlar*®, che con il *Technora*® costituiscono le tre più importanti fibre aramidiche sul mercato. Vengono definite fibre aramidiche [15] le fibre polimeriche ottenute per lavorazione di poliammidi aromatiche che nella loro struttura possiedono un certo numero di anelli aromatici: se il contenuto di anelli aromatici collegati ai legami ammidici risulta maggiore dell'85% si parla di aramidi.

La loro rigida struttura dovuta al carattere aromatico della catena e l'elevato LOI (28,5-30) permettono a questa classe di fibre di avere un'alta stabilità chimica e termica e un'alta resistenza. Le aramidi possiedono inoltre una buona resistenza meccanica alle alte temperature (la resistenza a rottura dopo 1000 h di esposizione a 250°C diminuisce del 35%) e iniziano a carbonizzare attorno ai 400°C senza sciogliersi.

Meta-aramidi e para-aramidi si differenziano per la posizione della catena sugli anelli benzenici che attribuisce alla fibra le caratteristiche distintive.

La posizione della catena in posizione meta dell'anello benzenico [Fig. 3-6] crea fibre ad elevata resistenza termica e buona resistenza alla degradazione dovuta ad una vasta gamma di sostanze chimiche e solventi industriali.

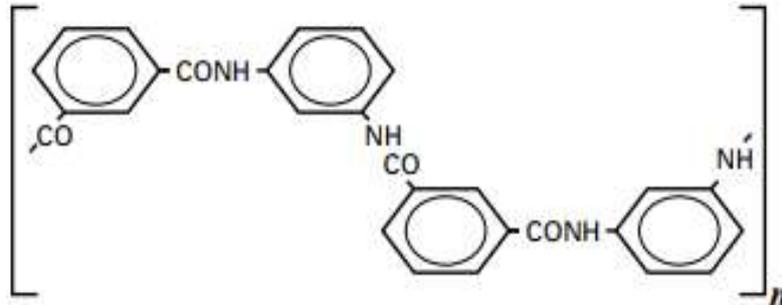


Figura 3-6: Meta-aramide: formula di struttura

Questa posizione inoltre crea una struttura a zig-zag che impartisce una minor resistenza a trazione rispetto alla para-aramide, che presenta gli anelli benzenici collegati alla catena ammidica in para posizione, e maggiori capacità di allungamento, rendendola dunque più adatta ad applicazioni tessili e in particolare l'abbigliamento. La meta-aramide in presenza di fiamma assorbe l'energia termica carbonizzando, formando una barriera isolante in materiale carbonioso (*char*) alla fonte di calore. Questa blocca il trasferimento termico convettivo verso le strutture del tessuto, le quali mantengono la loro flessibilità fino a quando non si raffredda. Le fibre meta-aramidiche mostrano un ritiro termico a 300 °C dello 0% e tra il 5-12% a 400 °C.

La para-aramide, con la sua particolare posizione degli anelli benzenici in para posizione [Fig.3-7], crea fibre con caratteristiche meccaniche e termiche ad alte prestazioni, come una maggiore resistenza al taglio e allo strappo e un ritiro termico dello 0% anche a temperature superiori ai 400 °C, rendendola così molto adatta ad altri tipi di applicazione rispetto all'abbigliamento. Nonostante ciò questo tipo di fibra si presta ad essere miscelata con altre al fine di incrementarne complessivamente le prestazioni.

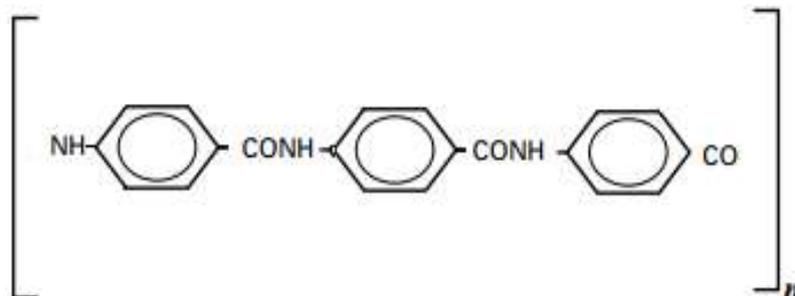


Figura 3-7: Para-aramide: formula di struttura

Piccole quantità di fibre para-aramidiche possono però essere miscelate con fibre di meta-aramide per fornire al tessuto una maggiore stabilità, durata e resistenza alla trazione.

Il Nomex Comfort (95% Nomex 3% Kevlar 2% Antistatico) ne è un esempio. Esso viene molto utilizzato nell'ambito dell'abbigliamento protettivo: [16] la presenza al 5% di Kevlar fornisce una

maggior resistenza a rottura in caso di carico termico e inibisce il restringimento termico riducendo la conseguente perdita di barriera protettiva. Durante il contatto con una fonte di calore la fibra stessa assorbe energia termica durante il processo di carbonizzazione, si gonfia e sigilla le aperture nel tessuto [Fig.3-8], diminuendo il movimento d'aria e il suo associato trasferimento di calore convettivo.



Figura 3-8: Schema di rigonfiamento delle fibre durante il contatto con una fonte di calore (Technical Guide for NOMEX® Brand Fiber, pag 21 fig. 3.1)

Inoltre l'ispessimento della fibra e quindi del tessuto [Fig 3-9.] aumenta la barriera isolante e riduce il trasferimento di calore conduttivo.



Figura 3-9: Ispessimento del tessuto in Nomex (Technical Guide for NOMEX® Brand Fiber, pag 22 fig. 3.2)

Tessuti costituiti da Nomex® IIIA, un'altra variante nel panorama delle fibre aramidiche, hanno al loro interno una piccola percentuale di fibra antistatica che dissipa l'energia elettrostatica che si può generare nello sfregamento tra tessuto e tessuto e tra tessuto e superficie, senza contribuire però al miglioramento delle prestazioni al fuoco.

A parità di composizione fibrosa molte sono le tipologie di tessuti possibili grazie alla grande versatilità di questi filati: essi possono essere utilizzati per tessuti-non tessuti, tessuti a navetta e tessuti da maglieria, con diverse armature, pesi e spessori, che possono infine essere tinti in varie tonalità di colore.

Un'altra fibra molto utilizzata è il PBI, [15] polibenzimidazolo, una fibra organica con un LOI pari a 41 che può sopportare temperature superiori a 400°C. Questa viene utilizzata sia da sola che in tessuti a composizione mista (40% PBI, 60% amide, per esempio). Facilmente processabile attraverso i metodi di tessitura convenzionali, con questa fibra sono realizzati tessuti a navetta, a maglia e tessuti-non tessuti che presentano un buon livello di resistenza alla fiamma, grazie all'alto LOI, di

durabilità, di morbidezza, di stabilità dimensionale, di non infragilimento e di preservata resistenza dopo l'esposizione ad una fonte di calore.

Tra le altre fibre tecniche utilizzate ci sono[15]:

- le poliammidi-immidi (il cui esponente commerciale più famoso è il Kermel®), spesso utilizzate in combinazione con altre fibre come le aramidi, grazie alla loro buona capacità di resistenza alle alte temperature e di formazione di materiale carbonioso durante la combustione;
- le polimmidi, (come il P84®), una copoliammide aromatica che non fonde ma carbonizza a temperature superiori ai 500°C.

L'utilizzo di fibre convenzionali, nella loro forma ignifuga, ormai è sempre meno frequente se non per rispondere ad alcune particolari esigenze a cui le fibre tecniche non possono rispondere, come ad esempio alti livelli di comfort, o la richiesta di precise lavorazioni, come ad esempio quella di stampa diretta, opzione attualmente di resa molto bassa o del tutto impossibile sui tessuti tecnici. L'ignifugità delle fibre convenzionali può essere sviluppata attraverso metodi diversi, [15] ad esempio:

- l'aggiunta di monomeri ritardanti alla fiamma nel processo di copolimerizzazione (come per poliestere e modacrilico);
- l'introduzione di additivi durante l'estrusione della fibra (come per la viscosa e le poliammidi);
- trattamenti di finissaggio (come per il cotone e la lana);
- mischia di fibre o strutture tessili doppie

A parità di fibra non si possono però trascurare alcune caratteristiche del tessuto che vanno ad influire sulla loro prestazione di protezione al calore. Il tipo di armatura, il suo grado di compattezza, il fattore di copertura e il finissaggio del tessuto sono solo alcuni degli elementi che influenzano le proprietà meccaniche e le prestazioni di protezione [13].

Il comportamento alla combustione è affetto dalla geometria del filo e dalla armatura: a differenza dei tessuti che possiedono un'armatura compatta, quelli con struttura più aperta con una bassa massa areica, per esempio, tendono a favorire la combustione, ad aumentarne la velocità e ad incrementare lo scambio di calore.

I tessuti esterni si distinguono principalmente in due tipologie: tessuti utilizzati per il corpo principale della tuta e tessuti utilizzati in particolari zone del capo, come i giromanica, parte bassa della schiena, interno gamba, parte sopra il ginocchio. Per il corpo principale della tuta sono spesso utilizzati tessuti a navetta mentre per le altre parti tessuti in maglia: i primi per loro natura presentano molteplici vantaggi (una maggiore resistenza, minor peso e spessore a parità di filati, migliore stabilità e superiori prestazioni in termini di protezione rispetto a quelli in maglia). e rispondono a diverse delle esigenze richieste (durabilità, possibilità di personalizzazione con stampe e ricami, ...); i secondi possiedono caratteristiche di elasticità e una costruzione adeguata per

adattarsi ad alcune parti del corpo, fornendo il giusto grado di comfort senza impedire l'esecuzione di alcuni movimenti.

I tessuti a navetta [17] sono formati dall'intreccio di due insiemi di fili disposti ortogonalmente tra di loro: i fili disposti in senso longitudinale costituiscono l'ordito (*warp*) mentre quelli disposti trasversalmente rispetto alla direzione di tessitura corrispondono alla trama (*weft*). Questi tessuti possono essere caratterizzati da molteplici specifiche ma quelle che sono interessanti nel valutare la loro prestazione all'esposizione alla fiamma sono: la massa areica, il fattore di copertura e l'armatura.

La massa areica [17] indica il peso di un tessuto rapportato alla superficie e viene espressa in $[g/m^2]$: a parità di fibra e struttura, all'aumentare del peso del tessuto aumenta generalmente lo spessore. I tessuti utilizzati hanno pesi che variano da 80 a 240 g/m^2 in base alle esigenze dell'utilizzatore finale (leggerezza, durabilità, etc.) La massa areica può essere cambiata, modificando la titolazione [*tex*], cioè il rapporto tra peso e lunghezza, dei fili utilizzati, e variando la riduzione [*fili/cm*], cioè il numero di fili per centimetro in ordito (o in trama), che dunque influenza la superficie coperta di fili rispetto all'area totale.

La relazione tra riduzione e titolazione prende il nome di fattore di copertura. All'aumentare della titolazione dei fili, a parità di riduzione e fattore di copertura, aumenta il peso e lo spessore del tessuto. Il fattore di copertura è un numero che indica quanta superficie del tessuto è coperta dall'insieme dei fili che lo costituiscono. Si definiscono due fattori di copertura, quello di ordito e quello di trama: il fattore di copertura complessivo è costituito dalla somma dei due e tiene conto delle differenze di densità dei filati tra trama e ordito.

Spesso al posto del fattore di copertura si considera la frazione di copertura, espressa in percentuale, che indica il rapporto tra la superficie occupata da fili e quella totale. Una frazione di copertura alta [13] indica una struttura del tessuto compatta e dunque una bassa permeabilità all'aria e una maggiore resistenza alla combustione.

Per armatura [17] si intende la modalità con cui i fili di trama e ordito vengono intrecciati tra di loro a formare il tessuto: ogni struttura presenta intrecci diversi, influenzandone le caratteristiche del tessuto in termini di fattore di copertura e di rigidità, dunque di prestazione.

Generalmente è possibile distinguere tre strutture basilari: tela (tessuto semplice, *plain fabric*), saia (*twill*), raso (*satén e sateen*). Tuttavia la varietà di intrecci è pressoché illimitata, se ne possono trovare anche di più o meno complessi come ad esempio: il giro inglese (*leno weave*), il jacquard, il *crêpe*, il *dobby* e il *piqué*. Per una più chiara descrizione della struttura spesso si indica il rapporto di armatura, cioè il numero minimo di fili d'ordito e di trame necessario per rappresentare l'armatura: il primo numero indica il numero di fili di ordito passanti sopra quello di trama, il secondo sopra quanti fili di ordito passa un filo di trama. Tessuti che possiedono un'armatura molto compatta presentano pochi spazi per l'aria e dimensione dei pori ridotta e, se anche il peso fosse ridotto, la compattezza della struttura garantirebbe delle buone prestazioni [13].

Nell'armatura tela (rapporto 1:1) [Fig. 3-10], nel caso in cui trama e ordito siano costituite dallo stesso tipo di filati e presentino lo stesso numero di fili per unità di area, si ha un tessuto dalle proprietà omogenee e bilanciate, le cui prestazioni possono essere finemente controllate agendo sulla tipologia di filato usato. L'armatura tela è la struttura più semplice [17] da ottenere in quanto costituita dall'intrecciarsi alternato di un singolo filo di trama con un singolo filo di ordito. Presenta caratteristiche estetiche identiche su entrambe le facce, elevata densità di trama e stabilità dimensionale.

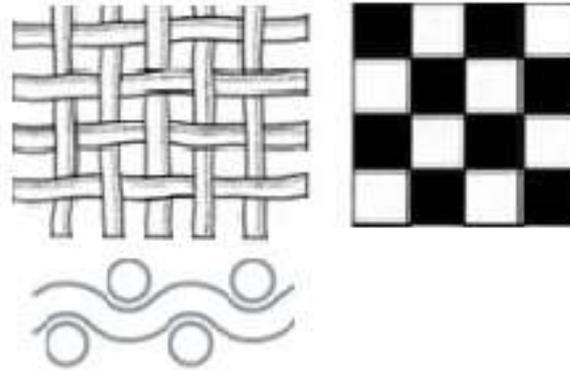


Figura 3-10: Rappresentazione, sezione e messa in carta tessuto tela 1:1

Questo tipo di struttura garantisce un alto fattore di copertura del tessuto, consentendo una bassa permeabilità ai liquidi e ai gas e quindi all'aria, limitando la quantità di ossigeno presente all'interno della struttura di tessitura e migliorando la resistenza alla fiamma del tessuto [13]. Dato un certo valore di riduzione, l'armatura a tela possiede il numero più alto di intersezioni per unità di superficie, rispetto a tutte le altre possibili strutture [17].

In virtù della sua costruzione, l'armatura saia (o spina) [Fig. 3-11] presenta tratti di filo non increspati più lunghi, poche intersezioni e una struttura più aperta: ciò si traduce in un'elevata durabilità, resa possibile dal conservarsi delle proprietà del filato sottoposto a minore stress in fase di tessitura. Le sue prestazioni di resistenza alla fiamma sono però peggiorative [13].

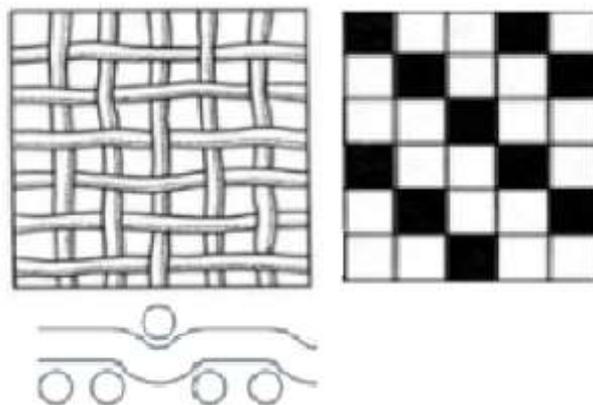


Figura 3-11: Rappresentazione, sezione e messa in carta saia 1:2 (dritto di trama spina sinistra)

L'armatura a saia [17] è caratterizzata dal presentarsi di linee diagonali sulla faccia del tessuto, che danno vita ad un dritto e un rovescio, uno ad effetto di trama e l'altro ad effetto di ordito. L'armatura

saia ha quindi intrecci più radi e un supporto minimo di ripetizione di tre fili e tre trame: i rapporti di armatura possono essere diversi, 1:2 con dritto di trama destra o sinistra, 2:1 con dritto di ordito destro o sinistro, 1:3 o 3:1, che nell'armatura batavia, sua diretta discendente, diventano per esempio 2:2 o 4:4 [Fig. 3-12].

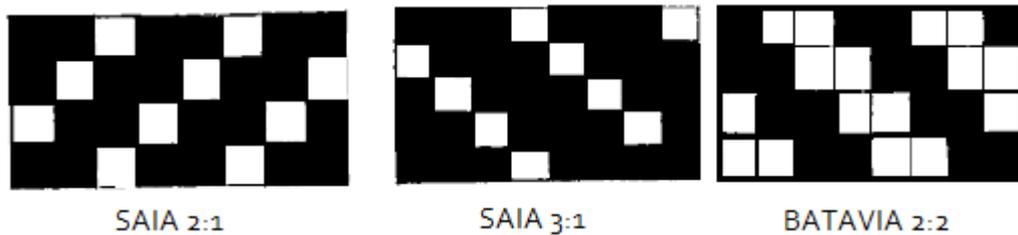


Figura 3-12: Esempi di armatura

A parità di titolazione dei filati e di riduzione, rispetto all'armatura tela si registra una forte diminuzione del fattore di copertura [17], ad esempio del 13% per una struttura con rapporto 1:2 o 2:1, del 23% nel caso di un rapporto di armatura 1:3, 3:1 e 2:2 fino a raggiungere riduzioni del 31% nel caso di armatura tipo raso (i suoi punti di legatura molto radi generano una caratteristica apertura della struttura inadatta a questi tipi di utilizzo).

Nella costruzione della tuta vengono utilizzati anche tessuti elastici, spesso ricorrendo a tessuti a maglia. I tessuti da maglieria a differenza dei tessuti a navetta non hanno una trama e un ordito, ma un solo filo che passa attraverso degli aghi, creando dei piccoli anelli concatenati, le cosiddette "maglie" o "cappi".

Vi sono due tecnologie per la loro produzione [18] che si distinguono per la conformazione dell'unità base dell'intreccio: la maglieria in trama, *weft knitting technology*, e la maglieria in catena, *warp knitting technology*. La maglieria in trama [Fig. 3-13] assume questo nome in quanto l'intreccio dei cappi avviene in senso longitudinale.

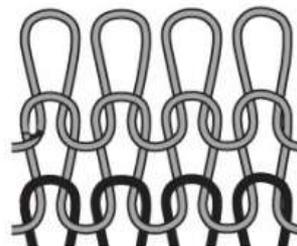


Figura 3-13: Schema costruzione maglieria in trama

La peculiarità di questa struttura è che tale ripetizione di cappi e quindi di ranghi è ottenuta tramite un filo unico che percorre l'intera superficie del tessuto senza soluzione di continuità. Questa mancanza di incroci perpendicolari tra due fili può però generare anche dei difetti come la facilità a smagliarsi. Se infatti si taglia un filo e si sottopone il tessuto a tensione, le maglie, non più trattenute superiormente, si smagliano per tutta la costa, lasciando la caratteristica riga longitudinale di fili di trama non intrecciati. I tipi fondamentali di maglia in trama sono la maglia unita e la maglia in costa.

La maglia unita, nota anche come maglia rasata o liscia o jersey, [18] è il tipo più semplice di struttura e richiede una sola serie di aghi (singola frontura) per la sua fabbricazione: essa ha il diritto diverso dal rovescio (forma a "V" sul davanti e ad arco sul dietro) e presenta generalmente uno spessore maggiore rispetto ai tessuti a navetta realizzati con lo stesso tipo di filo, ha moderata estensibilità in senso longitudinale (10-20%) ed elevata elasticità in senso trasversale (30-50%), tende ad arricciarsi ed ha una capacità di recupero elastico fino al 40% della sua lunghezza.

La maglia in costa o doppio jersey, [18] che richiede due serie di aghi, (oltre agli aghi verticali nella macchina vi sono gli aghi orizzontali), è costituita da righe di maglie diritte e rovesciate alternate e le due facce presentano caratteristiche estetiche identiche. Un esempio è la maglia incrociata o *interlock* [Fig.3-14] che consiste in due tessuti a maglia a costa, a ranghi alternati legati insieme.



Figura 3-14: Schema costruzione interlock (Handbook of technical Textile, Fig. 5.14 Weft-knitted structures E)

Questo tipo di costruzione permette di avere un dritto e rovescio identici e piatti, accompagnato da un maggiore spessore rispetto ad un tessuto realizzato con lo stesso filato, moderata estensibilità sia in senso longitudinale e che trasversale senza avere tendenza ad arricciarsi.

Nella maglieria in catena [Fig. 3-15] invece, l'intreccio dei capi avviene [18] in senso orizzontale e la loro sequenza in senso verticale: in questo caso non si ha un filo unico come nella maglieria in trama ma ogni fila costituente la sequenza di capi è costituita da un filato autonomo, chiamato trama e introdotto longitudinalmente nel tessuto. L' intreccio così ottenuto ha estensibilità limitata o anche nulla ma risulta indemagliabile.

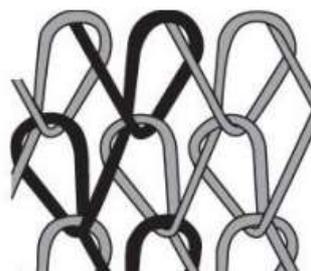


Figura 3-15: Schema costruzione maglieria in catena

Il tessuto a maglia si distingue per l'elasticità strutturale che lo caratterizza indipendente da quella del filato che lo compone. Tale proprietà è dovuta al comportamento del filato una volta che gli è stata impartita la configurazione necessaria per l'intreccio. I capi, infatti, agiscono come molle, cedendo alla tensione e tornando nella posizione primitiva appena la tensione cessa. In questo modo gli sforzi sono gestiti a livello strutturale ed incidono solo secondariamente sul filato garantendone così una durata elevata: nel caso particolare di utilizzo come tessuto esterno è però fondamentale garantire una durabilità e resistenza paragonabili a quelle di un tessuto a navetta, andando ad agire

così sul peso del tessuto (maggiore di 180-200 g/m²) e dunque sul suo spessore. Infatti l'utilizzo di tessuti a navetta, la cui composizione, seppur in quantità ridotte (5% circa), comprende l'elastan legato a fibre aramidiche, non sempre è apparsa una soluzione vincente, in termini di funzionalità (buona elasticità ma limitato recupero elastico) e comfort (scarsa adattabilità alle forme del corpo).

L'utilizzo di tessuti a maglia è comunque preferibile come fodera, per evitare di dover aggiungere un incremento di peso all'assemblaggio costituente il capo

Tra tessuto esterno e fodera spesso si opta per l'inserimento di un tessuto intermedio che ha come principale funzione quella di incrementare l'isolamento termico; i tessuti-tessuti non tessuti (*non-woven*) risultano adatti allo scopo. Questi sono caratterizzati dalla presenza di fibre disposte a strati o incrociate che vengono unite insieme con aghi meccanicamente, con adesivi o con processi termici: anche in questo caso la resistenza alla propagazione limitata di fiamma è data dal peso e dallo spessore.

Una soluzione esistente ma non frequentemente applicata è quella di utilizzo di tessuti a cui sono stati eseguiti finissaggi: questi sono lavorazioni successive alla tessitura e possono impartire proprietà specifiche al prodotto. I finissaggi a base di Pyrovatex® o Proban® [15], applicati a fibre cellulosiche, o di Zipro (complesso di Titanio e Zirconio) applicato alla lana per favorirne le proprietà ritardanti alla fiamma, agevolano la formazione di materiale carbonioso intumescente.

Anche nel caso delle fibre sintetiche come poliammidi, poliestere e acrilico, i finissaggi hanno lo stesso risultato, concorrendo a ridurre la termoplasticità delle fibre. Essi non hanno però riscosso molto successo per le loro scarse prestazioni.

Oltre ai tessuti vengono testati alla propagazione limitata di fiamma alcuni degli accessori:

- le zip, che nella maggior parte dei casi presentano la catena in zama, una lega non ferrosa ad elevato tenore di zinco di notevole purezza, unito a piccole percentuali di alluminio, magnesio e rame (variabili in base ai tipi di utilizzo) e nastro in aramidico;
- le stampe, sia serigrafiche che di tipo transfer, le cui criticità sono soprattutto la tenuta sui supporti tessili a seguito del pretrattamento e l'ignifugità del primer;
- le etichette che possano entrare in contatto con i sottoindumenti e con l'ambiente esterno;
- i fili cucirini utilizzati sul capo: per le cuciture strutturali si utilizzano fili con titolo tex 80 mentre per le impunture decorative e le trapuntaure si utilizzano fili di titolo tex 40 o tex 27 di composizione 100% meta-aramidica.

1.1.2.2 RESISTENZA ALLA TRASMISSIONE DEL CALORE DEGLI ASSEMBLAGGI	
FIA 8856-2000 7. TEST	7.2 <i>La trasmissione del calore attraverso i materiali o gli assemblaggi mediante esposizione a una fiamma deve essere testata secondo la ISO 9151, sia prima che dopo il pre-trattamento. La fiamma deve incidere sulla linea della cucitura se si prevede che la prestazione possa essere inferiore rispetto al resto del provino.</i>
FIA 8856-2000 8. REQUISITI PRESTAZIONALI	8.2 <i>Il valore del HTI₂₄ di ogni assemblaggio utilizzato sulla tuta testato in accordo alla ISO 9151, deve essere uguale o superiore a 11 s.</i>
FIA 8856-2000 3. TERMINIE DEFINIZIONI	3.4 Assemblaggio <i>Combinazione dei materiali di un capo multistrato esposti esattamente come nella costruzione del capo finito.</i>

La valutazione dell'isolamento termico, per un capo di abbigliamento che svolga una funzione di protezione dal calore e dal fuoco, risulta indispensabile per quantificarne le prestazioni. Un buon isolamento termico infatti aumenta il tempo di fuga dell'utilizzatore dalla fonte di pericolo. Questa può essere eseguita attraverso lo studio del loro comportamento alla combustione e alla stima della loro resistenza termica, ovvero la capacità di impedire il trasferimento assorbendo l'energia proveniente dalla fonte di calore e ritardandone la propagazione.

La formazione di residui carboniosi, l'inattitudine alla creazione di fori e la stabilità dimensionale [13] durante la combustione sono solo alcuni degli elementi che caratterizzano gli assemblaggi adatti alla protezione dal calore. Infatti il materiale carbonioso per sua composizione sfavorisce il flusso di calore. La formazione di un foro, a differenza della sola degradazione delle fibre che compongono i tessuti, può provocare un incremento nel trasferimento per conduzione e irraggiamento attraverso l'aria nella struttura e attraverso le fibre. Un basso livello di ritiro dei tessuti garantisce una quantità di aria isolante sufficiente sia tra gli strati di tessuto che tra il capo e il corpo dell'utilizzatore

La procedura richiesta dallo standard è quella descritta dalla norma ISO 9151 [19], che specifica un metodo per comparare la trasmissione del calore attraverso uno o più materiali per mezzo della stima dell'indice di trasferimento del calore (HTI, *Heat Transmission Index*) nelle condizioni di prova specificate dalla norma.

L'indice di trasferimento del calore [19] fornisce un mezzo per classificare l'abilità degli assemblaggi costituenti il capo nel ritardare il trasferimento di calore proveniente da una fiamma, derivato dal tempo per raggiungere un aumento di temperatura di 24°C e un trasferimento di calore totale di

132,3 kJ/m² dalla parte del sistema opposta alla fonte di calore: visto che la valutazione dell' HTI può essere eseguita sia all'innalzamento di 24 °C che di 12 °C, nel primo caso ci si riferisce all'HTI₂₄.

Un provino di dimensioni 140x140 mm orientato orizzontalmente viene bloccato e sottoposto ad un flusso di calore incidente di 80 kW/m² ± 5% emesso da una fiamma di un bruciatore a gas collegato sotto di esso [Fig.3-16].

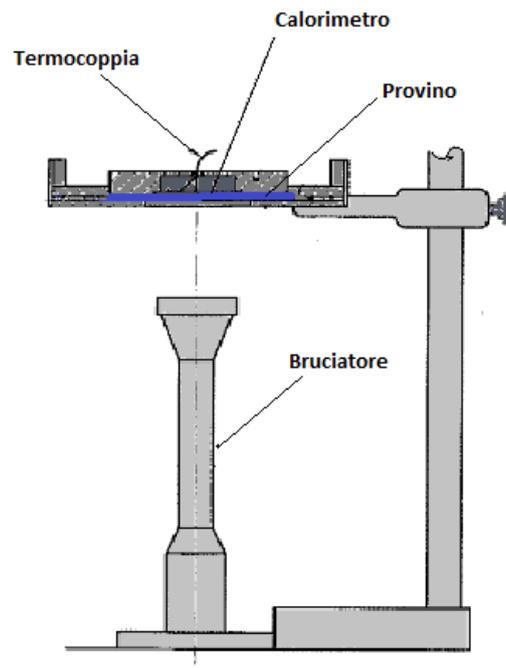


Figura 3-16: Struttura per l'esecuzione del test di valutazione della trasmissione di calore (ISO 9151:1995, pag. 4, fig.5)

Il calore è misurato mediante un calorimetro collocato sopra il provino e in contatto con il provino stesso. L'HTI viene stimato attraverso la media dei tempi registrati per ottenere un aumento della temperatura di 12 o 24 °C del calorimetro misurato dalla termocoppia collegata al sistema di acquisizione di dati.

In fase di preparazione viene calcolato il flusso di calore incidente [19] Q [kW/m²] per mezzo della regolazione della fiamma attraverso la seguente formula:

$$Q = \frac{M \cdot c_p \cdot R}{A}$$

dove

M è la massa del disco di rame costituente il calorimetro [kg]

c_p è il calore specifico del rame=0,385 [kJ/kg °C]

R è l'incremento di temperatura registrato in funzione del tempo [°C/s]

A è la superficie del disco [m²]

I valori ottenuti devono essere compresi in un intervallo tra 76 e 84 kW/m²

Il rapporto di prova [Fig. 3-17] comprende le seguenti informazioni:

Protective overall for automobile drivers. Heat transmission on exposure to a flame		
Product standard	FIA 8856:2000	A
Test method	ISO 9151:1995 + FIA 8856:2000 Par. 7.2	B
Test equipment	Calorimeter with copper	C
Gas used	Propane	D
Incident heat flux	(79.6)kW/m ²	E
Specimens conditioning	24 h at (20±2)°C - (65±2)% R.H.	F
Standard atmosphere for conditioning	(10-30)°C - (15-85)% R.H.	G
Test began on:	██████████	Test ended on: ██████████

Figura 3-17: Rapporto di prova di valutazione della trasmissione di calore

- A) indicazione dello standard di omologazione a cui il test si riferisce
- B) il metodo di prova utilizzato e il paragrafo dello standard FIA che richiede l'esecuzione del test
- C) la strumentazione utilizzata
- D) il gas utilizzato nel bruciatore
- E) il flusso di calore incidente calcolato
- F) lo stato di condizionamento del provino prima dell'esecuzione del test
- G) le condizioni ambientali di temperatura e umidità relativa nell'area in cui è eseguita la prova

La media dei risultati del test ottenuta su tre provini eseguito su una tipologia di assemblaggio [Fig. 3-18] deve essere maggiore o uguale ad 11 s.

Time for a temperature increase of 24°C		
1st specimen	s	11.9
2nd specimen	s	12.2
3rd specimen	s	11.9
Index of heat transfer		
HTI24	s	12.0

Figura 3-18: Sintesi risultati test di trasmissione di calore nel rapporto di prova per assemblaggio di esempio

La conducibilità termica [13] di un tessuto può essere stimata considerandone alcune caratteristiche come la conducibilità termica specifica delle fibre che lo compongono, la porosità della struttura e la quantità d'acqua contenuta nei pori del tessuto, dipendente dalla sua igroscopicità e dalla umidità relativa dell'ambiente.

La conducibilità del tessuto diminuisce se:

- se la porosità del tessuto aumenta, poiché si abbassa la capacità del tessuto di intrappolare una adeguata quantità di aria che funge da isolante;
- se il contenuto d'acqua nei pori del tessuto è basso, poiché l'acqua ha un'alta conducibilità termica.

- la conducibilità delle fibre è bassa, poiché le proprietà della fibra [15] si riflettono su quelle dei fili del tessuto [Fig.3-19];

FIBRA	CONDUCIBILITÀ TERMICA [W/m K]
Meta-aramide	0.037
Para-Aramide	0.043
PBI	0.037
Poliammide-immide	0.011

Figura 3-19: Conducibilità termica delle principali fibre

A tal proposito risulta determinante nella valutazione della prestazione il rapporto tra fibre e aria e il modo in cui le fibre sono disposte nella struttura del tessuto. Un efficace isolante [20] dovrà essere composto per il 10-20% da fibre e 80-90% d'aria, dove la fibra agisce come mezzo con un'ampia superficie per intrappolare aria. L'aria infatti possiede uno dei più bassi valori di conducibilità termica pari a $0,026 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ e dunque si comporta da miglior isolante termico. Microscopicamente si può agire sulla finezza delle fibre [20] poiché all'aumentare della finezza, a parità di quantità di fibre, aumenta la superficie specifica e quindi l'area utile per intrappolare l'aria, influenzando il rapporto fibre/aria. Per quanto riguarda la struttura, uno dei fattori che più influenza la resistenza al flusso di calore è lo spessore (e dunque il peso) del tessuto e conseguentemente dell'assemblaggio: all'aumentare dello spessore aumenta la quantità d'aria intrappolata al suo interno e la sua capacità isolante.

Si ricorre dunque all'utilizzo di microfibra nella composizione dei tessuti e a diversi pesi per poter rispondere in maniera adeguata all'esigenza di protezione. Con microfibre [21] vengono definite tutte quelle fibre che hanno titolazione inferiore o uguale ad 1 dtex; i tipi più comuni di microfibre sono costituiti da poliesteri e poliammidi ma anche meta e para aramidi. La microfibra per forma, dimensione e combinazione di fibre sintetiche utilizzate trova applicazione grazie a specifiche caratteristiche, tra cui morbidezza, tenacità, assorbimento, repellenza all'acqua, capacità elettrostatiche.

La tabella sottostante [Tab. 3-4] mostra la relazione che c'è tra il peso complessivo dell'assemblaggio, variato attraverso il peso del tessuto esterno (uguale in termini di armatura e composizione fibrosa) e la loro prestazione in termini di HTI₂₄

Tabella 3-4: Confronto HTI₂₄ assemblaggi con diverso peso del tessuto esterno

TESSUTO ESTERNO (assemblaggio 3 strati)	PESO COMPLESSIVO DELL'ASSEMBLAGGIO [g/m ²]	HTI ₂₄ [s]
TELA 80 g/m ² 100% META-ARAMIDE (microfibra)	390	14,5
TELA 110 g/m ² 100% META-ARAMIDE (microfibra)	420	14,9
TELA 150 g/m ² 100% META-ARAMIDE (microfibra)	460	15,6

Favorire la quantità d'aria all'interno della struttura del tessuto sembra in contraddizione con l'esigenza di ignifugità, per la quale si tende a sfavorire la permeabilità onde evitare che l'aria possa agire da comburente. Perciò per controbilanciare i due fattori nella scelta dei tessuti che si vogliono far agire come isolante, si preferiscono quelli con composti da fibre con infiammabilità molto bassa, alti LOI, buona capacità di estinzione della fiamma e carbonizzazione durante la combustione.

Come già menzionato, gli assemblaggi più comunemente utilizzati nella costruzione di una tuta spesso sono costituiti da due o tre strati: l'intermedio e la fodera più che il tessuto esterno, che svolge prettamente la funzione di primo strato protettivo in termini di infiammabilità, sono gli strati più predisposti a garantire una buona resistenza alla trasmissione del calore. A questo proposito lo strato intermedio è comunemente costituito da un tessuto non tessuto [22], una struttura tessile prodotta dall'intreccio e legame tra fibre non ordinate [Fig.3-20].

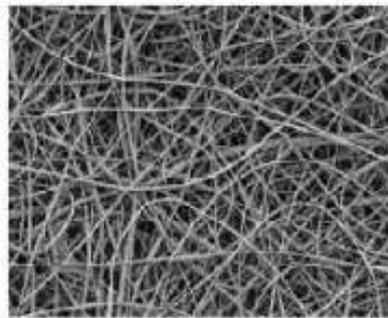


Figura 3-20- Struttura di un tessuto non tessuto

I tessuti utilizzati sono spesso realizzati con il processo di agugliatura. Questo generalmente utilizza fibra in fiocco e include tra le fasi:

- la preparazione della fibra;
- la cardatura, che apre e allinea la fibra in direzione parallela attraverso la carda;
- la faldatura, che per mezzo del faldatore aumenta la larghezza e la grammatura del tessuto derivante dalla carda;
- l'agugliatura, che grazie all'azione degli aghi trascina verticalmente le fibre e fa sì che si leghino tra loro, dando loro compattezza;
- la stiratura, per rendere il più uniforme possibile il prodotto, orientando le fibre in direzione della linea di macchina;
- il finissaggio, che a seconda dell'applicazione finale conferisce la proprietà voluta al prodotto.

La costruzione fornisce una migliore protezione termica rispetto al tessuto a navetta equivalente in termini di peso grazie alla maggiore quantità di aria intrappolata nella struttura.

Lo strato più interno è spesso costituito da un tessuto a maglia più leggero rispetto a quelli posizionati all'esterno della tuta: esso può avere una struttura a maglia convenzionale o tridimensionale (tipo nido d'ape) per poter sempre garantire una buona resistenza al trasferimento termico grazie alla maggiore capacità di intrappolare aria.

RESISTENZA MECCANICA DEGLI ASSEMBLAGGI CHE COMPONGONO IL CAPO DOPO L'ESPOSIZIONE ALLA FIAMMA	
FIA 8856 7. TESTING	<p>7.3</p> <p><i>La resistenza meccanica degli assemblaggi che compongono il capo dopo l'esposizione alla fiamma deve essere testata in accordo con il seguente test:</i></p> <p><i>montare centralmente a faccia in giù sull'apparato della norma ISO 9151 un provino per ogni assemblaggio di dimensioni 140 mm x 140 mm. Applicare la fiamma per 11±0,2 s. Entro 1 minuto dalla rimozione della fiamma, posizionare il provino su un piano orizzontale e ripiegarlo manualmente a 180 ° nella metà della bruciatura. Per 3s viene applicato un carico sulla metà della linea di piega di 2 kg. Rimuovere il carico e ripiegare il provino nella direzione opposta e riposizionare il carico. Ripetere questa operazione cinque volte.</i></p>
FIA 8856-2000 8. REQUISITI PRESTAZIONALI	<p>8.3</p> <p><i>Quando ogni assemblaggio usato nella costruzione del capo è sottoposto al test di resistenza meccanica in accordo con il punto 7.3, lo strato più interno deve rimanere intatto, non ci devono essere segni di rottura nella struttura dello strato più interno.</i></p>
FIA 8856-2000 3. TERMINI E DEFINIZIONE	<p>3.5 Strato più interno</p> <p><i>Fodera posizionata sulla faccia dell'assemblaggio che è posta più vicino alla pelle di chi indossa il capo.</i></p>

La resistenza e l'integrità strutturale del capo dopo una certa esposizione alla fiamma [6] risulta una delle prestazioni più importanti nella valutazione di conformità del capo come di protezione al calore e al fuoco per poter garantire che questo si ponga come una barriera per il tempo necessario alla fuga dell'utilizzatore dal luogo dell'incendio.

L'immagine seguente [Fig.3-21] rappresenta in maniera esaustiva il metodo descritto:

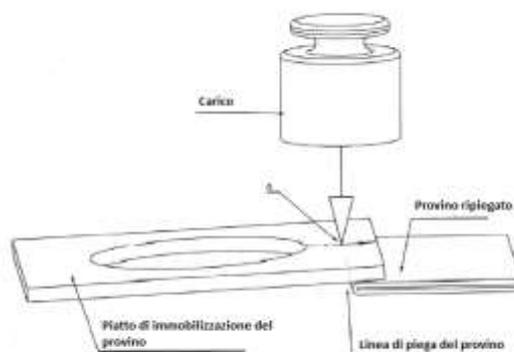


Figura 3-21: Rappresentazione del test di resistenza meccanica degli assemblaggi post esposizione alla fiamma (FIA 8856-2000, pag.20, Appendice IIA)

Questo tipo di prova vuole mettere in evidenza la capacità dell'assemblaggio di resistere nella sua parte più interna, la fodera, ultimo strato di barriera utile per l'utilizzatore, alla sollecitazione di piegatura che si traduce in trazione e compressione dello stesso dopo un'esposizione alla fiamma di circa 11 s, il tempo valutato come minimo per la fuga dell'utilizzatore dal luogo dell'incendio senza incorrere in lesioni e bruciature.

RESISTENZA A TRAZIONE DELLE CUCITURE	
FIA 8856-2000 7. TEST	7.5 <i>La resistenza a trazione delle cuciture strutturali deve essere testata usando dei nuovi provini in conformità alla ISO 13935-1.</i> <i>NOTA: Questo test non è applicabile ai tessuti a maglia.</i>
FIA 8856-2000 8. REQUISITI PRESTAZIONALI	8.5 <i>La resistenza a trazione delle cuciture strutturali usate nella costruzione del capo testate in conformità al 7.5 deve essere maggiore o uguale a 300 N.</i>

La resistenza a trazione delle cuciture [6] risulta un altro fattore determinante nel valutare l'integrità strutturale del capo, le cui cuciture se sottoposte a trazione non devono rompersi e non lasciare spazi dovuti a fori e strappi che andrebbero a minare l'incolumità dell'utilizzatore. Il metodo è noto come metodo della striscia. A parità di tipologia di cucitura (a pedina con doppia ribattitura, semplice ribattuta, ...) questa può essere eseguita in diversi modi (in sporco o in pulito principalmente): in ogni caso la cucitura di prova deve esattamente simulare quella presente sul capo sia per quanto riguarda la direzione dei pezzi e la combinazione di assemblaggi.

I parametri che influiscono sul risultato della prova sono il tipo di filo, il titolo, le dimensioni dell'ago e la densità dei punti.

STABILITÀ DIMENSIONALE AL LAVAGGIO	
FIA 8856-2000 7. TEST	7.6 <i>Il cambiamento dimensionale dovuto al lavaggio deve essere valutato in conformità alla ISO 5077 per quanto riguarda il lavaggio ad acqua e alla ISO 3175-1 per quanto riguarda il lavaggio a secco. Un provino deve essere sottoposto a 5 lavaggi ad acqua o 5 lavaggi a secco, secondo le istruzioni di lavaggio del produttore. Se entrambi sono permessi, il provino deve solo essere lavato ad acqua.</i>
FIA 8856-2000 8. REQUISITI PRESTAZIONALI	8.6 <i>La variazione dimensionale del tessuto esterno del capo testato in conformità al 7.6, non deve superare il $\pm 3\%$ né in lunghezza né in larghezza ($\pm 5\%$ per i tessuti a maglia).</i>

La stabilità dimensionale risulta un altro elemento di garanzia in termini di protezione in quanto il restringimento o la dilatazione del tessuto non cambiano le proprietà di isolamento termico del tessuto stesso ma la distanza tra tessuto e pelle o tra i diversi strati del capo. con conseguente cambiamento nell'isolamento termico globale: se lo strato esterno si restringe e spinge il capo sul corpo, l'isolamento è ridotto e il flusso di calore innalzato.

3.2.1.2 Conformità al programma SFI Specification 3.2

Questo programma [23] specifica e stabilisce i metodi di test e i requisiti minimi standard per valutare e determinare le capacità prestazionali delle tute per piloti usate nelle principali gare di Motorsport che richiedono l'utilizzo di abbigliamento certificato SFI. La valutazione comprende un'analisi delle caratteristiche costruttive del capo e i metodi di prova per testarne la prestazione di protezione al calore e al fuoco. Le procedure in questo caso sono specifiche dello standard e non si riferiscono a norme internazionali.

DESIGN

La tabella che segue sintetizza l'insieme di esigenze precedentemente schematizzato, prendendo in considerazione solo la parte riferita alla progettazione del design del capo in conformità al programma SFI Specification 3.2° [23], completata dai rispettivi requisiti

Tabella 3-5: Esigenze e requisiti di design in conformità al programma SFI Specification 3.2A

ESIGENZE			REQUISITI
1. PROTEZIONE DA FUOCO E TRASMISSIONE DI CALORE IN CASO DI INCENDIO	1.2 CONFORMITÀ AL PROGRAMMA SFI SPECIFICATION 3.2	1.2.1.1 ADEGUATA TIPOLOGIA DI CAPO	Completo pezzo unico o due pezzi (giacca e pantalone)
		1.2.1.2 RESISTENZA DELLE PROPRIETÀ DI IGNIFUGITÀ AI LAVAGGIE AL TEMPO	È vietato l'uso di trattamenti non permanenti ritardanti di fiamma su materiali
		1.2.1.3 UNIFORMITÀ DI PROTEZIONE	È obbligatorio che le cuciture comprendano tutti gli strati previsti dalla costruzione dell'assemblaggio.

Di seguito ogni esigenza specifica presentata nella tabella precedente viene illustrata.

1.2.1.1 ADEGUATA TIPOLOGIA DI CAPO	
SFI SPEC. 3.2 A 3. COSTRUZIONE	<i>I completi da pilota possono essere costituiti da una tuta (pezzo unico), essere due pezzi, giacca e pantalone o solo giacca. Il completo due pezzi deve avere una sovrapposizione tra giacca e pantalone a livello della vita di 8 pollici (20,32 cm).</i>
SFI SPECIFICATION 3.2 A 2. DEFINIZIONI	<p>2.1 Tuta da pilota: <i>Un completo realizzato con materiali ignifughi/ritardanti la fiamma usato come abbigliamento protettivo nelle competizioni automobilistiche. La maglieria (caviglie e polsi) deve essere realizzata con materiali ignifughi/ritardanti la fiamma.</i></p> <p>2.2 Strato: <i>ogni strato di materiale tessuto, non tessuto, a maglia o feltrato ignifugo/ritardante la fiamma, escludendo qualsiasi combinazione, composti o assemblaggi che formano un singolo tessuto.</i></p> <p>2.3 Strati multipli: <i>il completo da pilota può essere costituito da uno o più strati di tessuto. L'uso del sottoindumento non è considerato nella valutazione della tuta</i></p> <p>2.4 Sistemi di chiusura: <i>tutte le chiusure (zip metalliche o Velcro) devono avere una costruzione ignifuga/ritardante la fiamma. La zip deve essere costituita da denti metallici e nastro ignifugo. La chiusura tipo Velcro va coperta da materiale ignifugo/ritardante la fiamma.</i></p>

A differenza dello standard FIA, SFI [23] dà la possibilità di far scegliere al pilota tra tre tipologie di completi, tuta intera, completo due pezzi giacca e pantalone o solo giacca. Solo nel primo caso la tuta potrà dunque essere omologata sia FIA che SFI poiché le altre due tipologie non sono contemplate dalla FIA.

In termini di costruzione la tuta intera rimane dunque l'opzione più cautelativa ma l'utilizzo di un capo in due pezzi con la garanzia di una sovrapposizione sufficiente a non lasciare parti del corpo scoperte, risulta comunque efficace e favorisce un maggior comfort. Le altre specifiche caratteristiche del capo sono molto simili a quelle richieste da FIA.

1.2.1.2 RESISTENZA DELLE PROPRIETÀ DI IGNIFUGITÀ AI LAVAGGI E AL TEMPO	
SFI SPEC. 3.2 A 3. COSTRUZIONE	<i>Qualsiasi sostanza chimica ritardante la fiamma che per sua natura, tipologia di applicazione e legame chimico potrebbe non resistere all'acqua, per esempio trattamenti non permanenti, non sono accettabili per l'utilizzo su materiali specifici per i completi da pilota di produttori certificati in accordo alle linee guida</i>

È fondamentale che l'ignifugità del capo, se impartita tramite finissaggi [23] che prevedano l'utilizzo di sostanze chimiche fissate su tessuti, sia permanente.

1.2.1.3 UNIFORMITÀ DI PROTEZIONE	
SFI SPEC. 3.2 A 3. COSTRUZIONE	<i>Tutti gli strati di materiale in un completo per pilota devono estendersi completamente fino a tutte le cuciture. L'accorciamento di qualsiasi strato prima delle cuciture non è permesso.</i>

Per esigenze di confezione, quando il numero di strati che formano gli assemblaggi che costituiscono il capo sono molti (anche più di 5), a livello delle cuciture, la presenza di tutti gli strati può provocare un reale ispessimento della cucitura medesima. Nascerebbe quindi la necessità di ridurre gradualmente gli strati per poter bloccare nelle cuciture solo alcuni dei materiali ed evitare questo spessore ma lo standard, a questo proposito, vieta questo espediente per garantire un'uniformità di protezione su tutto il capo.

PRESTAZIONI

La tabella che segue [Tab. 3-5] sintetizza l'insieme di esigenze precedentemente schematizzato, prendendo in considerazione solo la parte riferita alle prestazioni del capo in conformità al programma SFI Specification 3.2A, completata dai rispettivi requisiti.

Tabella 3-6: Esigenze e requisiti prestazionali in conformità al programma SFI Specification 3.2A

ESIGENZE			REQUISITI	
1. PROTEZIONE DA FUOCO E TRASMISSIONE DI CALORE	1.2 CONFORMITÀ AL PROGRAMMA SFI SPECIFICATION 3.2A	1.2.2 PRESTAZIONI ADEGUATE	1.2.2.1 CLASSIFICAZIONE DEL COMPLETO DA PILOTA IN BASE AL TPP	Un completo da pilota deve poter essere classificato in base al livello di prestazione in termini di protezione dal calore (TPP, <i>Thermal Protective Performance</i>).
			1.2.2.2 RESISTENZA ALLA FIAMMA	Tempo di post combustione ≤ 2 s Lunghezza del materiale carbonioso ≤ 6 inches (152mm). No fusione e gocciolamento.
			1.2.2.3 RESISTENZA DEL FILO CUCIRINO AL CALORE	Valutazione della condizione del cucirino a diverse temperature.
			1.2.2.4 RESISTENZA DELLA ZIP AL CALORE	Stabilità dimensionale, no fusione, no gocciolamento, no rottura.
			1.2.2.5 RESISTENZA AL RESTRINGIMENTO DEGLI ASSEMBLAGGI DOVUTO AL CALORE	Restringimento totale $\leq 10\%$ Riduzione del peso ≤ 20 No fusione, no gocciolamento, rottura o combustione

I requisiti sopraelencati costituiscono gli standard minimi affinché un modello di completo da pilota possa essere approvato dalla fondazione SFI, che attraverso il processo di certificazione, ne garantisce la conformità. Tutti i materiali appartenenti al modello, ad eccezione di quelli non citati o esclusi dalla norma, devono essere sottoposti ai test. I ricami sono permessi a patto che non influiscano sulle prestazioni del capo.

1.2.2.1 CLASSIFICAZIONE DEL COMPLETO DA PILOTA IN BASE AL TPP	
SFI SPEC. 3.2 A 5. TEST	5.1 <i>Test in accordo con il bollettino tecnico SFI 3.2 (materiali per protezione al fuoco)</i>
SFI SPEC. 3.2 A 6.1 RISULTATI TEST	6.1.1 <i>Ogni completo da pilota, rappresentato dai materiali testati, deve essere classificato a seconda del TPP nei gradi previsti dallo standard SFI</i>

La valutazione del grado di protezione al calore del capo passa attraverso la stima del TPP, *Thermal Protective Performance*. L'apparecchiatura di prova [Fig. 3-22] è costituita [25] da una serie di tubi radianti al quarzo e due bruciatori che forniscono un flusso di calore incidente al provino posto al di sopra. Il calore viene trasferito attraverso il provino al sensore posizionato sopra quest'ultimo: il sensore è costituito da un calorimetro in rame, uno strato isolante e una serie di termocoppie.

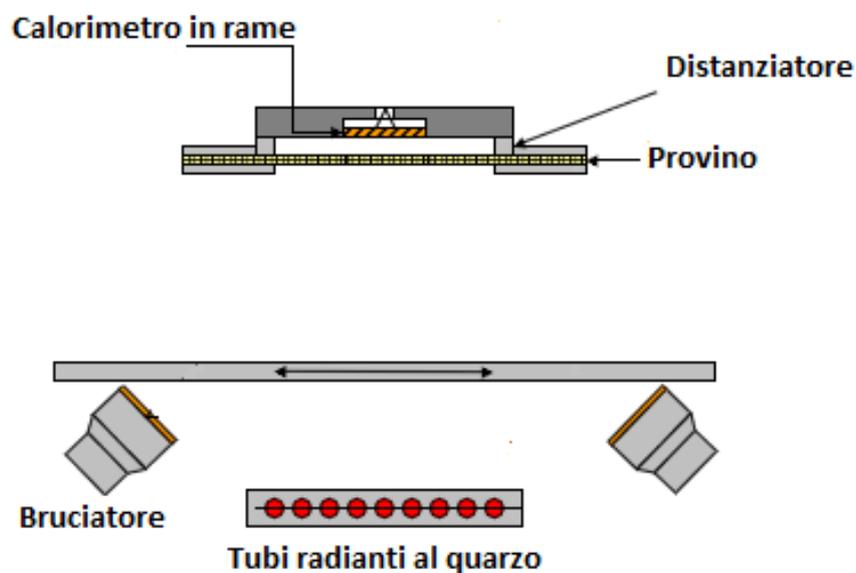


Figura 3-22: Apparecchiatura per valutazione del TPP (NISTIR 6993, pag. 2, fig. 1)

Attraverso il processo di calibrazione il flusso di calore incidente viene fissato in maniera tale che i contributi di calore convettivo e calore radiante siano 50% l'uno e 50% l'altro.

La regolazione di entrambe le fonti deve essere eseguita in modo da garantire un flusso di calore complessivo di $80 \text{ kW} \pm 2 \text{ kW/m}^2$ ($1,90 \text{ cal/s}\cdot\text{cm}^2$) e che il contributo radiante sia 40 kW/m^2 .

Dopo la procedura di calibrazione, il tessuto sottoposto al teste i distanziatori vengono posizionati nell'apparecchiatura. Le misure della temperatura sono ottenute dalla termocoppia nel calorimetro.

Il TPP [cal/cm^2] viene calcolato moltiplicando il flusso di calore F [$\text{cal/s}\cdot\text{cm}^2$] per il tempo t_b [s] che si ottiene intersecando la curva che rappresenta la variazione della temperatura nel tempo misurata dalla termocoppia e la curva che identifica il punto di una bruciatura di secondo grado per un flusso di calore applicato rispetto al tempo, chiamata la curva di Stoll (i cui valori sono presenti nella standard).

$$\text{TPP} = F \cdot t_b$$

Di ogni tipologia di assemblaggio vengono testati tre campioni, di cui viene valutato il peso, lo spessore e il TPP: il TPP finale verrà valutato come la media dei tre valori a patto che questi non abbiano una differenza del 5% dal valore medio. Se così non fosse, verranno prelevati altri tre campioni finché tre test consecutivi non diano valori adeguati.

Attraverso la valutazione dell'incremento di temperatura dei tre provini nel tempo si ottengono delle curve [Fig. 3-23] che vengono fatte intersecare con la curva di Stoll, per ottenere il valore di t_b necessario nel calcolo del TPP, dove F sarà $1,9 \text{ cal/s}\cdot\text{cm}^2$.

Calcolata la media dei tre valori si deve verificare che quelli ottenuti sperimentalmente siano compresi nell'intervallo $\pm 5\%$ del valore medio (come nel caso mostrato in tabella).

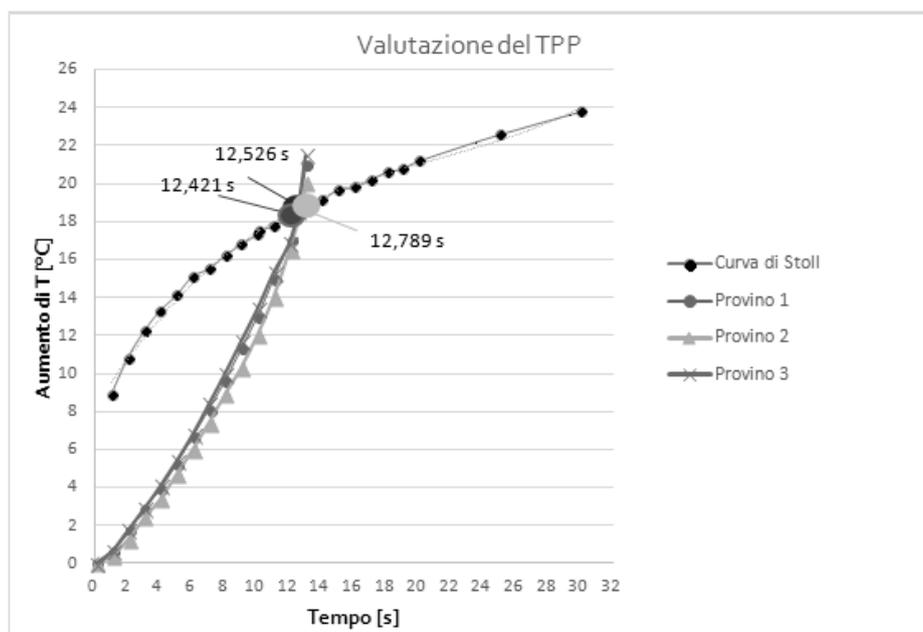


Figura 3-23: Curve di intersezione per l'ottenimento del t_b di ogni provino testato di un assemblaggio di esempio

La curva di Stoll [24] mette in relazione l'aumento di temperatura in funzione del tempo e va a quantificare la risposta della pelle e dei tessuti umani alle fonti di energia termica. Essa rappresenta il modo in cui la cute umana risponde all'aumento della temperatura e prevede l'insorgere di ustioni di secondo grado in condizioni di laboratorio.

La tabella seguente [Tab. 3-7] mostra un esempio della valutazione del TPP di un assemblaggio in tre strati, peso nominale 400 g/m², composizione complessiva 97% Meta-aramide 3% Para-aramide.

Tabella 3-7: Risultati test valutazione TPP su un assemblaggio di esempio

PROVINO	PESO [g/m ²]	SPESSORE [mm]	TPP [cal/cm ²]
1	395,7	2,29	23,8
2	403,5	2,39	24,3
3	400,42	2,31	23,6
		VALORE MEDIO	23,9
		MIN TPP	22,705
		MAX TPP	25,095

La valutazione della capacità del tessuto di impedire all'energia termica di raggiungere il rilevatore è una misura delle sue prestazioni termiche protettive.

Questo fattore di protezione può essere espresso in cal/cm²: più questo valore è grande, più è elevato il fattore di protezione fornito dal sistema tessile. In base a questi valore SFI classifica i capi con degli indici specifici che vanno a identificare il grado di protezione: in base all'entità dei rischi previsti durante una particolare competizione, SFI obbliga il pilota ad indossare un completo di protezione del grado che più lo può proteggere. I casi più frequenti sono SFI 1 o 5 per i meccanici, SFI 5 o 15 o 20 per i piloti.

La tabella seguente [Tab. 3-8] mostra i gradi di classificazione SFI previsti [23], con il rispettivo valore minimo di TPP e il corrispettivo valore di tempo dopo il quale l'utilizzatore può incorrere in una bruciatura di secondo grado.

Tabella 3-8: Classificazione SFI prevista per i completi da pilota

Classificazione SFI	TPP [cal/cm ²]	Tempo prima di bruciatura di secondo grado[s]
3.2A/1	≥6	3
3.2A/3	≥4	7
3.2A/5	≥19	10
3.2A/10	≥38	19
3.2A/15	≥60	30
3.2A/20	≥80	40

Le stesse considerazioni avanzate durante la descrizione del metodo di prova previsto dalla ISO 9151 riguardanti la tipologia di tessuti che più si comportano da isolanti termici (capacità delle fibre di

intrappolare aria, basso grado di degradazione, tendenza alla formazione di materiale carbonioso, peso, spessore, tipologia di tessuto e armatura), valgono anche in questo caso. A parità di composizione fibrosa e pesi comparabili, la struttura del tessuto influisce notevolmente sulla loro prestazione.

1.2.2.2 RESISTENZA ALLA FIAMMA	
SFI SPEC. 3.2 A 5. TEST	5.2 <i>Ogni strato di materiale che compone il completo e la maglieria (polsi e caviglie) deve essere testato secondo il bollettino tecnico 3.2.</i>
SFI SPEC. 3.2 A 6.1 RISULTATI TEST	6.1.2 <i>Il tempo di post-combustione deve essere per tutti i provini inferiore o uguale a 2 s. La lunghezza media del residuo carbonioso sui cinque provini deve essere uguale e inferiore a 15,2 cm. La fusione o gocciolamento del materiale provoca il fallimento del campione.</i>

Cinque provini di dimensione 7x31 [23] cm di tutti i materiali che compongono il completo da pilota vengono testati alla resistenza alla fiamma applicando: su ciascuno provino posizionato verticalmente viene applicata una fiamma al centro del bordo inferiore per 12 secondi.

Viene dunque misurato il tempo post-combustione e valutata la lunghezza del materiale carbonioso, dal margine inferiore del provino fino all'estremità della parte bruciata.

A differenza del metodo prescritto dalla norma ISO 15025, in questo caso la fiamma viene applicata al bordo del provino e non centralmente e per un tempo di due secondi maggiore e tiene conto della lunghezza del residuo carbonioso.

1.2.2.3 RESISTENZA ALLA FIAMMA DEL FILO CUCIRINO	
SFI SPEC. 3.2 A 5. TEST	5.3 <i>Tutti i completi da pilota sottoposti al test per la valutazione del TPP devono essere sottoposti a questa prova, secondo il metodo FTM 191-1534 a meno di altre specifiche.</i>
SFI SPEC. 3.2 A 6.1 RISULTATI TEST	6.1.3 <i>Per ogni provino viene valutata la sua condizione alla temperatura specificata.</i>

Tre campioni di ogni filo cucirino utilizzato per la confezione del capo vengono sottoposti ad una temperatura di 260°C e risultano conformi nel caso in cui non fondano.

1.2.2.4 RESISTENZA AL CALORE DELLA ZIP e RESISTENZA AL RESTRINGIMENTO TERMICO DI ASSEMBLAGGI MULTISTRATO	
SFI SPEC. 3.2 A 5. TEST	<i>Un forno a circolazione d'aria forzata deve essere mantenuto ad una temperatura dell'aria di 260 °C ± 3 per un periodo non inferiore a 5 minuti (5 +0,15/-0,0 min) dal momento che il flusso d'aria ha raggiunto la temperatura richiesta. Il provino deve essere sospeso da una pinza metallica sulla punta e posizionato al centro del forno così che l'intero provino non sia a meno di 50,8 mm da ogni superficie del forno o un altro provino e il flusso d'aria sia parallelo al piano del materiale.</i>
SFI SPEC. 3.2 A 6.1 RISULTATI TEST	<p>6.1.4 <i>Il campione deve rimanere nella forma originale e non deve fondersi, gocciolare, rompersi o prendere fuoco.</i></p> <p>6.1.5 <i>Il restringimento totale deve essere inferiore o uguale al 10%, la massima percentuale di perdita di peso deve essere inferiore o uguale al 20% e non deve fondersi, gocciolare, rompersi, o prendere fuoco.</i></p>

La valutazione di conformità di un assemblaggio multistrato viene verificata anche attraverso la stima del suo restringimento termico all'interno di un forno ventilato a 260°C per 5 minuti. Il provino non deve fondersi, gocciolare o infiammarsi.

Solo nel caso in cui nessuna di questi tre eventi si verifichi, si procede con l'analisi del restringimento valutato in termini di dimensione (verticale e orizzontale) e di riduzione del peso [Fig.3-24].

Results:

Shrinkage

Vertical: .6 %
Horizontal: .6 %

Total Shrinkage 1.2 %

Consumption: 1.6 %

Figura 3-24: Risultati di test di resistenza al restringimento termico di un assemblaggio multistrato di esempio

Come già accennato, un basso grado di restringimento garantisce un buon mantenimento dell'aria tra gli strati del capo e tra il completo e il corpo, e dunque una maggiore conservazione della sua capacità di proteggere dalla trasmissione di calore.

3.2.2 Resistenza e durabilità

La tabella che segue [Tab. 3-9] sintetizza l'insieme di esigenze precedentemente schematizzato, prendendo in considerazione solo la parte riferita alla necessità di resistenza e durabilità del capo, completata dai rispettivi requisiti

In questo caso la scelta dei requisiti non è vincolata da nessuna norma ma fissata da parametri di qualità dell'azienda. Poiché non esiste un preciso protocollo, la scelta dei test effettuata è variabile e adattata al tessuto in questione. I requisiti in questo caso non saranno indicati in termini quantitativi ma in termini qualitativi. Durante la descrizione di ciascuno verranno citati alcuni esempi con riferimenti a tessuti utilizzati nella produzione delle tute.

Tabella 3-9: Esigenze e requisiti di resistenza e durabilità

ESIGENZE		REQUISITI
2. RESISTENZA E DURABILITÀ	2.1 RESISTENZA ALLO STRAPPO E ALLA TRAZIONE	Buona resistenza alla lacerazione
	2.2 RESISTENZA ALL'INVECCHIAMENTO DA RAGGI UV	Basso livello di degradazione delle fibre dopo esposizione ai raggi UV
	2.3 RESISTENZA ALL'USURA	Alta resistenza all'abrasione
	2.4 DURABILITÀ AI LAVAGGI	Buona stabilità dimensionale

Le principali cause di logoramento dei tessuti utilizzati sono dovuti a strappi, all'esposizione ai raggi UV, all'usura e ai lavaggi. In base alla previsione di utilizzo questi tessuti sono valutati nelle loro caratteristiche di resistenza e durabilità così da prevederne la capacità di rimanere inalterati se sottoposti a sollecitazioni di varia natura.

La tendenza di un tessuto a strapparsi più o meno facilmente viene stimata attraverso la resistenza alla lacerazione. La verifica di tale caratteristica si effettua misurando la forza necessaria ad accrescere una lacerazione (intaglio) che viene realizzata sul provino di tessuto da esaminare. Le prestazioni delle fibre si combinano con le caratteristiche del tessuto nel determinarne il risultato. Risulta una buona scelta l'utilizzo di tessuti con un alto fattore di copertura, composti da fibre di maggiore lunghezza con alto carico di rottura come le para-aramidi (3,4 GPa), con struttura composta da fili ritorti (formati da due o più capi della stessa qualità e finezza) il cui grado di torsione risulta determinante nella resistenza del filo e dunque del tessuto finale.

Le principali manifestazioni delle modificazioni dovute all'esposizione ai raggi UV [26] sono il cambiamento nella tonalità del colore e il degrado delle fibre. Il primo si manifesta con un leggero ingiallimento (più marcato nel caso in cui la tintura avvenga direttamente sul filo piuttosto che sul tessuto), il secondo attraverso il decadimento delle proprietà meccaniche. Il tutto dipende dalla lunghezza d'onda dei raggi UV, dal tempo di esposizione, dall'intensità di radiazione e dalla geometria del prodotto. Due condizioni sono indispensabili per la luce di una particolare lunghezza d'onda per causare la degradazione della fibra. La luce deve essere in primo luogo assorbita dal polimero e l'energia deve essere sufficientemente alta da rompere i legami chimici.

I tessuti in meta-aramide hanno una scarsa resistenza ad una prolungata esposizione ai raggi UV, sia che la fonte sia naturale che artificiale e assorbono la loro massima energia al livello maggiore dello

spettro UV (circa 360 nm). Lo XENON test di resistenza alla luce e ai raggi UV permette di simulare lo spettro completo della luce del sole, compresi UV, luce visibile ed infrarossi ed eseguire una valutazione in termini di prestazioni: dopo 40 ore di esposizione la fibra conserva una resistenza pari al 70% di quella originale e il 55% dopo 80 ore [16]. Sebbene la resistenza si riduca in queste condizioni, la resistenza alla fiamma non viene modificata. Durante l'utilizzo del capo, il tempo di esposizione alla luce solare e la sua intensità varia largamente rispetto al luogo e tipologia di utilizzo: l'esposizione alla lampada allo xenon in laboratorio tenta di simulare una accelerata esposizione alla luce solare naturale ma non può duplicare la varietà di condizioni di uso e dunque, la conservazione della resistenza, non può essere direttamente correlata alla tenuta di forza durante l'utilizzo. I risultati di laboratorio possono essere utilizzati solo per comparare campioni di materiali differenti.

Come le meta-aramidi [16] anche le fibre para-aramidiche soffrono l'esposizione ai raggi UV, soprattutto tra i 300 e i 450 nm di lunghezza d'onda della luce solare, dove l'assorbimento da parte della fibra risulta non trascurabile. Le fibre di PBI® hanno una resistenza UV [26] più povera e perciò sono meno adatta alle esposizioni a scenari di usura quotidiana: per questo motivo viene preferibilmente utilizzata per lo strato intermedio e la fodera.

La resistenza all'usura viene stimata attraverso il metodo Martindale [27] secondo la UNI EN ISO 12947, che va a determinare il comportamento di un materiale quando sottoposto a cicli di abrasione ripetuti. La procedura di prova prevede che un provino circolare sottoposto ad un carico definito, venga assoggettato all'azione di un elemento abrasivo normalizzato (lana o carta abrasiva) mediante un movimento di traslazione e di rotazione per un predeterminato numero di giri, durante i quali, ad intervalli di tempo definiti (ogni 5000 giri per esempio fino ad un totale di 30000), viene effettuata la valutazione di rottura del provino, perdita di massa e il cambiamento d'aspetto.

La prova può dirsi conclusa quando il tessuto si rompe: la rottura viene valutata per i tessuti a navetta come due fili completamente rotti, per i tessuti a maglia quando un filo si rompe con conseguente formazione di un foro, per i tessuti non tessuti con la formazione di un foro di diametro minimo 0,5 mm. Il valore dipende dalla composizione e dal peso del tessuto, ma tendenzialmente per i tessuti più leggeri di composizione aramidica si attesta attorno ai 25000/30000 cicli, utilizzando come elemento abrasivo la lana.

La durabilità ai lavaggi viene valutata attraverso la serie di lavaggi previsti dal regolamento FIA 8856-2000 come pre-trattamento per valutare oltre che tal quale, le prestazioni di infiammabilità e di trasmissione al calore dei materiali che compongono il capo. Il pretrattamento [6] consiste in 15 lavaggi ad acqua in accordo con la ISO 6330, rispettando le istruzioni di lavaggio previste dal fornitore, e 15 a secco con la procedura descritta nella ISO 3175-1. Dopo i primi 5 lavaggi viene valutata la stabilità dimensionale, come previsto dalla norma, ma a seguito di tutto il pre-trattamento viene eseguita una valutazione in termini di aspetto e cambiamento.

3.2.3 Comfort

La tabella che segue [Tab. 3-10] sintetizza l'insieme di esigenze precedentemente schematizzato, prendendo in considerazione solo la parte riferita alla necessità di comfort del capo, completata dai rispettivi requisiti

Tabella 3-10: Esigenze e requisiti di comfort

ESIGENZE		REQUISITI
3. COMFORT	3.1 COMFORT TERMOFISIOLOGICO	Bassa resistenza termica e evaporativa dell'assemblaggio, alto valore di ripresa di umidità delle fibre
	3.2 COMFORT SENSORIALE	Buona mano del tessuto e alto grado di adattamento
	3.3 COMFORT ERGONOMICO	Buon rapporto taglie e misure, vestibilità corretta che non impedisca il movimento. Adattamento alla morfologia dell'utilizzatore e mantenimento di tale adattamento durante l'impiego
	3.4 COMFORT PSICOLOGICO	Capo esteticamente piacevole, il cui utilizzo è accettabile

Il comfort negli indumenti di protezione è un sottile equilibrio tra caratteristiche di protezione e comodità di utilizzo: è necessario dare importanza alla comodità dell'utilizzatore realizzando capi che agevolino i movimenti del corpo, confezionati con materiali tecnico funzionali, tessuti leggeri e traspiranti, poiché se l'indumento non è confortevole verrà apprezzato. In parole semplici, il comfort [28] può essere descritto come assenza di *discomfort*, e dunque di elementi di disagio e malessere.

Il comfort tessile è il grado di benessere offerto da un indumento e l'insieme di sensazioni percepite durante il suo indossaggio e può essere definito come una volatile combinazione di fattori fisici, fisiologici e psicologici, che subiscono una costante variazione dipendente dal bilancio termico umano con il sistema formato da capo d'abbigliamento e ambiente.

In generale il comfort tessile può essere suddiviso in quattro principali categorie [29]:

- Comfort termo-fisiologico, legato al calore metabolico e al processo di trasporto dell'umidità attraverso i materiali dell'indumento;
- Comfort sensoriale, legato all'interazione del tessuto con la sensazione tattile della pelle dell'indossatore. Le percezioni possono essere positive, come morbidezza e levigatezza, o negative, come rigidità, pesantezza, spinosità o percezione di bagnato e di umido di un tessuto impregnato di sudore;
- Comfort ergonomico, legato alla vestibilità e alla agevolezza del movimento. Una giusta taglia, vestibilità, costruzione del capo e peso sono le variabili più importanti nel fornire questo tipo di comfort anche in funzione di salvaguardia e protezione;
- Comfort psicologico, in termini di aspettative nei confronti del capo e di accettabilità di utilizzo nell'ambiente ed in mezzo ad altre persone;

Un indumento può fornire comfort fisiologico all'utilizzatore attraverso una adeguata trasmissione del calore metabolico e del vapore prodotto dalla sudorazione del corpo verso l'ambiente esterno. Molteplici attributi del tessuto sono importanti nella determinazione di questo parametro come la resistenza termica, la resistenza evaporativa, la permeabilità dell'aria e la capacità e la velocità di assorbimento del sudore. Sebbene queste ultime due caratteristiche risultino fondamentali nella valutazione del comfort per indumenti classici, non lo sono per quelli di protezione termica poiché un tessuto permeabile all'aria e che assorbe acqua possiede una bassa resistenza al calore e andrebbe a diminuire le prestazioni del capo in termini di protezione da esposizione al calore e al fuoco. Risultano quindi di fondamentale importanza le prime due, la resistenza termica e quella evaporativa.

La resistenza termica di un tessuto può essere definita come la resistenza fornita dal tessuto al passaggio dell'energia termica metabolica dal corpo dell'utilizzatore all'ambiente circostante; quella evaporativa è la resistenza alla circolazione del vapore formato dal sudore, sempre dal corpo verso l'ambiente circostante. Un tessuto con una bassa resistenza termica ed evaporativa genera un livello inferiore di stress termico per chi indossa l'indumento, aumentandone il comfort fisiologico.

La resistenza evaporativa viene calcolata attraverso un indice specifico chiamato R_{et} [$m^2 \cdot Pa/W$] che valuta la differenza della pressione di vapore d'acqua tra le due facce del materiale, divisa per il flusso di calore d'evaporazione, per unità di superficie nella direzione del gradiente. Perché la percezione di comfort sia molto positiva, questo valore deve essere inferiore o prossimo a 6, mentre risulterà molto negativa per valori superiori a 20.

La valutazione fatta su alcuni dei principali assemblaggi utilizzati nella costruzione delle tute ha fatto emergere valori che variano da 14, per quelli con un maggior numero di strati, a 5,9, nel caso particolare delle tute monostrato in HocoTex™, un tessuto multistrato a tripla legatura brevettato da Sparco, che, grazie alla sua particolare costruzione, riesce a soddisfare in maniera eccellente i requisiti di comfort, pur garantendo una buone prestazioni di protezione alla trasmissione di calore e di ignifugità.

Lo stress termico risulta una condizione molto pericolosa per il corpo e nasce dalla combinazione di esposizione al calore e esercizio fisico. I fattori che principalmente contribuiscono allo stress termico sono: le condizioni esterne (temperatura, umidità e vento), il peso dell'indumento e la tipologia e il livello di attività. Una qualsiasi attività fa sì che il nostro corpo generi calore, che deve essere dissipato attraverso la nostra pelle e l'indumento per mantenere il giusto bilancio termico. Ci sono due principali sistemi di dispersione: trasferimento di calore secco, quando la temperatura circostante è più bassa di quella della nostra pelle oppure viceversa di trasferimento di calore evaporativo, attraverso la sudorazione e la sua evaporazione finalizzata al raffreddamento del corpo. Il peso dell'indumento costituisce uno dei fattori che influisce sulla quantificazione dello stress termico subito dall'utilizzatore poiché all'aumentare del peso diminuisce la permeabilità all'aria del tessuto.

Nella gestione dell'umidità, il tessuto deve essere in grado di dissiparla rimuovendola dal corpo e favorendone l'evaporazione: a questo proposito viene valutata la ripresa di umidità (*moisture regain*), come il rapporto tra la massa d'acqua e la massa del materiale secco in percentuale. Un più alto valore di ripresa di umidità indica un'alta idrofilicità e dunque un maggior comfort.

Tra le fibre utilizzate [Tab. 3-11], il PBI mostra la più alta percentuale, paragonabile alle fibre naturali quali la lana (18,5%) o il cotone (8,5%)

FIBRA	RIPRESA D'UMIDITÀ [%]
Meta-aramide	6,5
Para-Aramide	4
PBI	15
Poliammide-immide	3,4
Polimmide	3

Tabella 3-11: Confronto di ripresa di umidità delle fibre più utilizzate per una tuta Racing

Il comfort sensoriale è la percezione che si avverte all'indosso soprattutto per gli indumenti che entrano in diretto contatto con la pelle. La mano del tessuto e il suo grado di adattamento sono due dei parametri valutabili. Il primo rappresenta l'aspetto sensoriale: la pelosità superficiale e la forza di attrito cute/tessuto costituiscono due delle possibili analisi morfologiche superficiali del tessuto. Il grado di adattamento alla morfologia dell'utilizzatore può essere stimato invece attraverso la valutazione dell'angolo di piegamento, andando così a quantificare la rigidità del tessuto.

Il comfort ergonomico è strettamente correlato alla vestibilità, facilità di movimento, corretto rapporto taglia e misura, adeguata aderenza al corpo. Una vestibilità più abbondante favorisce il comfort termo-fisiologico, promuovendo la mobilità e la circolazione dell'aria tra la pelle e gli strati dell'indumento e favorendo in alcuni casi una maggiore resistenza termica: la vestibilità di un indumento deve infatti tenere conto dell'intercapedine che si forma tra la pelle dell'utilizzatore e il capo. Nel caso in cui il corpo principale della tuta sia costituito da tessuti con forte tendenza al restringimento termico occorre dunque valutare la possibilità di optare per una vestibilità più abbondante: la quantità d'aria deve essere sufficiente a garantire un buon isolamento, assicurando una maggiore resistenza al trasferimento di calore, aumentando il tempo necessario all'occorrere di una ustione di secondo grado, evitando però che una quantità eccessiva d'aria possa creare tra tuta e corpo dei moti convettivi in grado di trasferire una grande quantità di calore.

Il comfort psicologico coinvolge principalmente la parte più emotiva di chi indossa il capo. Egli sa che la sua principale funzione è quella di proteggerlo in caso di incendio durante un incidente ma che nel contempo vuole che il capo incontri i propri gusti estetici in termini di grafica, colori, costruzione per poterlo indossare e mostrare con orgoglio. La componente tecnica del capo non può più prescindere da quella estetica per far sì che questo venga scelto e indossato dal pilota. A tal proposito una opera di sensibilizzazione del cliente sull'importanza di indossare tute di qualità che ne assicurino la protezione non può prescindere da una proposta sempre più varia di tute con grafiche e design accattivante.

3.2.4 Estetica

La tabella che segue [Tab. 3-12] sintetizza l'insieme di esigenze precedentemente schematizzato, prendendo in considerazione solo la parte riferita alla necessità estetica, completata dai rispettivi requisiti

Tabella 3-12: Esigenze e requisiti estetici

ESIGENZE		REQUISITI
4. ESTETICA	4.1 GRAFICA	Grafica riconoscibile
	4.2 PERSONALIZZAZIONE	Possibilità di personalizzazione
	4.3 BASSA FORMAZIONE DI PILLING	Buona resistenza al pilling
	4.4 RESISTENZA DELLE TINTURE	Buona solidità del colore

La componente estetica in ambiente sportivo, dove la funzionalità, più di ogni altra esigenza, ha sempre ricoperto un ruolo preponderante, negli ultimi anni sta dimostrando la sua rilevanza. Dal punto di vista progettuale è dunque fondamentale considerare per ogni modello di tuta la possibilità di personalizzazione sia come tipologia (applicazioni di patch, ricami, stampe tipo transfer, stampa diretta, ...) che come disponibilità per il cliente (personalizzazione da pronto o realizzazione di un capo fuori catalogo), come varietà di abbinamenti di colore a catalogo, come vestibilità e qualità estetiche durevoli nel tempo.

La grafica di una tuta deve permettere che il prodotto sia riconoscibile e deve lasciare che alcuni settori vengano lasciati liberi per facilitare la personalizzazione con scritte, disegni e loghi che rappresentino il pilota, il team di appartenenza e i suoi sponsor. Ogni decorazione deve però principalmente tenere conto di non interferire con le caratteristiche di ignifugità del capo.

La varietà di abbinamenti colore deve considerare la fibra scelta nella costruzione del capo: le meta-aramidi risultano adatte alla tintura e presentano una buona solidità se tinte in filo più che in pezza, soprattutto nel caso di utilizzo di microfibra, che inevitabilmente a causa della grande superficie per unità di volume, necessita una maggiore quantità di colorante. Altre fibre difficilmente vengono tinte come ad esempio il PBI, che risulta tingibile solo in tinte scure a causa del suo intrinseco colore bronzo-dorato, limitando il suo utilizzo a strati intermedi e fodere ed evitato come tessuto esterno. La difficoltà nel tingere le aramidi consiste nella forte presenza di regioni altamente cristalline, dove le fibre risultano orientate e dunque difficilmente predisposte a modificare la propria struttura per accogliere le molecole di colorante. I coloranti utilizzati per tingere le aramidi in generale sono quelli basici e quelli dispersi.

La stampa diretta risulta ad oggi uno dei metodi più vantaggiosi e convenienti economicamente per impartire grafiche direttamente sul tessuto, offrendo una più ampia varietà di colori e personalizzazioni con tempi di risposta più brevi: nel caso delle fibre aramidiche il risultato non è però spesso soddisfacente. A questo proposito l'utilizzo di fibre come la viscosa, in forma FR, nella costruzione di un tessuto doppio, ha permesso la realizzazione di capi stampati completamente personalizzabili dal cliente ma con non pochi problemi di stabilità dimensionale, solidità del colore e risultati.

Tra i difetti estetici più frequenti e sempre più spesso oggetto di contestazione da parte del consumatore finale ci sono il *pilling* e la resistenza delle tinture al degrado della tonalità.

Il *pilling* [31] è la comparsa di peluria e piccole palline (*pills*) di fibra che si formano con l'uso e la manutenzione del capo, conferendogli un aspetto invecchiato. I *pills* sono gruppi di fibre che, in seguito a pressione, sfregamento e agitazione meccanica in generale, provocati dal lavaggio e dall'indosso, migrano dalle maglie interne sino alla superficie del capo; qui tendono ad allungarsi e ad aggrovigliarsi formando delle palline ancorate al substrato della maglia. Se quest'ultimo è costituito da fibre fragili, il *pill* si spezza e cade, altrimenti rimane legato alla maglia, aumentando di dimensioni. Indipendentemente dal metodo utilizzato la resistenza al *pilling* si esprime con un numero che va da 1 (pessimo) a 5 (ottimo) attraverso una scala di riferimento universale.

INDICE	DESCRIZIONE
5	Nessun cambiamento
4	Leggera pelosità superficiale e/o formazione di palline
3	Moderata pelosità superficiale e/o moderato pilling. Palline di dimensioni e densità variabili che ricoprono parzialmente la superficie della provetta
2	Distinta pelosità superficiale e/o distinto pilling. Palline di dimensioni e densità variabili che ricoprono un'ampia parte della superficie della provetta.
1	Intensa pelosità superficiale e/o intenso pilling. Palline di dimensioni e densità variabili che ricoprono l'intera della superficie della provetta.

Tabella 3-13-Scala di riferimento universale per la valutazione di resistenza al *pilling*

Tra i metodi più utilizzati per la determinazione della resistenza al *pilling* c'è il metodo Pilling Box [32]: quattro provini con l'ausilio del dispositivo di montaggio, vengono montate su dei cilindri forati in modo che all'esterno si presenti il diritto (lato d'uso) del tessuto. I provini così preparati vengono inseriti nella scatola di prova e fatti ruotare all'interno dell'apparecchio per il numero di giri prefissato. La valutazione viene effettuata nella cabina di ispezione comparando i provini al campione originale e attribuendo un indice secondo una scala da 5 a 1. Le variabili che influenzano il *pilling* sono numerose, come il tipo di fibra, la sua finezza, la sua lunghezza, la sua tenacità, la torsione del filato, pelosità, procedimenti e macchinari di tintura e finissaggio: fibre più sottili si muovono più facilmente nel filo piuttosto rispetto a fibre di titolo maggiore provocando più *pilling*; fibre più lunghe con più bassa tenacità e creano meno *pilling*, anche se non è abbastanza per garantirne una completa assenza; fili con una più bassa torsione permettono alle fibre una maggiore mobilità rispetto a quelli con un'alta torsione; filati pelosi creano un maggior *pilling* rispetto a quelli più lisci.

La resistenza delle tinture al degrado della tonalità per effetto delle diverse condizioni e modalità di utilizzo viene chiamata solidità. Il colore può perdere il suo aspetto originale a seguito dell'esposizione alla luce solare, per effetto del sudore, dello sfregamento e del lavaggio o per un prolungato contatto con l'acqua ed è dunque fondamentale prevederne l'entità in ambiente di laboratorio.

3.3 MARCATURA CE DI UNA TUTA RACING

La tuta progettata secondo i requisiti sovraelencati, in quanto dispositivo di protezione individuale, deve essere infine sottoposta alla domanda di certificazione CE così che possa essere liberamente commercializzata nel mercato europeo. Di seguito verrà descritta brevemente la procedura burocratica da svolgere e dimostrata la conformità del capo ai requisiti essenziali di salute e sicurezza previsti dalla Direttiva comunitaria.

3.3.1 Sintesi procedura

Di ogni modello di tuta per il quale il fabbricante presenta la domanda, la certificazione CE viene rilasciata qualora venga dimostrata la conformità ai requisiti essenziali di salute e sicurezza di questa. Ogni tipologia di prodotto deve essere preliminarmente assegnata ad una delle categorie di rischio previste: le categorie vanno da I a III in base all'entità dei rischi da cui vanno a proteggere. La tuta da pilota appartiene alla categoria III, poiché tra i rischi elencati, che comprendono esclusivamente quelli che possono causare conseguenze molto gravi quali morte o danni alla salute irreversibili, vi sono anche quelli riguardanti ambienti ad alta temperatura aventi effetti comparabili a quelli di una temperatura dell'aria di almeno 100 °C [10]. La procedura di certificazione, diversa in base alla categoria di rischio, prevede per i DPI di categoria III, che la valutazione della conformità venga eseguita da un organismo notificato. Quest'ultimo esamina il progetto tecnico del DPI e verifica e certifica che tale progetto soddisfi i requisiti della direttiva applicabili ad esso, tramite esame della documentazione tecnica, nonché di un campione di DPI completo, rappresentativo della produzione prevista, presentati dal fabbricante.

La documentazione sottoposta al laboratorio notificato per il rilascio della certificazione deve principalmente comprendere una descrizione completa del DPI e dell'uso cui è destinato e una valutazione dei rischi da cui il DPI è destinato a proteggere, sui quali il produttore dimostra le soluzioni e le scelte tecniche adottate e le norme armonizzate che sono state applicate.

La descrizione del DPI contiene una dettagliata relazione del modello specificando materiali, etichettatura, accessori, dimensioni del capo in base alle taglie e le informazioni contenute all'interno del rispettivo libretto di uso e manutenzione: questa viene spesso completata da disegni e schemi di progettazione e fabbricazione del DPI e dei suoi componenti.

La dichiarazione della destinazione d'uso del prodotto permette la determinazione della categoria di appartenenza secondo le regole di classificazione. Inoltre devono essere precisate la localizzazione dell'attività, dove o sotto la cui responsabilità il prodotto viene confezionato, e la durata di vita dei dispositivi di protezione per la quale si garantisce la sua funzionalità, a patto che il capo non presenti segni di usura evidenti o modifiche sostanziali. Vengono dunque elencate le norme applicabili e delineati i requisiti per la progettazione, seguiti dalla descrizione delle procedure di controllo della produzione.

La parte più importante della documentazione è costituita però dall'illustrazione del soddisfacimento dei requisiti essenziali di salute e sicurezza, attraverso la quale il fabbricante dichiara la conformità del prodotto secondo le soluzioni adottate, sostenute dall'applicazione di precise norme tecniche.

L'organismo notificato verifica che i campioni siano stati fabbricati in conformità alla documentazione tecnica. Qualora la conformità di un DPI sia stata dimostrata, i fabbricanti ottengono la autorizzazione a redigere la dichiarazione di conformità UE e appongono la marcatura CE sul prodotto.

3.3.2 Applicazione dei requisiti essenziali di salute e sicurezza

Per la tuta da pilota, la destinazione d'uso viene identificata come protezione del pilota durante le competizioni sportive secondo quanto previsto dalla norma tecnica ISO 14460:2003, disposizione relativa agli indumenti di protezione contro calore e fuoco per piloti di automobili. Questa specifica i metodi di prova, i requisiti prestazionali e i parametri di progetto ed è stata in parte assorbita dallo standard FIA 8856-2000; specifica inoltre la durata di vita dei dispositivi, secondo la quale gli indumenti devono essere controllati dal fabbricante oppure sostituiti ogni tre anni, e i principali contenuti dell'etichettatura e delle note informative. Essendo un indumento di protezione viene inoltre compreso nell'applicazione della norma UNI EN ISO 13688-2013, che precisa i requisiti prestazionali generali per ergonomia, innocuità, designazione delle taglie, invecchiamento, compatibilità e marcatura degli indumenti di protezione e le informazioni che devono essere fornite dal fabbricante con l'indumento stesso.

La procedura di controllo eseguita all'interno della azienda, e che viene dunque dichiarata, consiste principalmente nelle seguenti operazioni:

- Controllo accettazione materia prima;
- Produzione eseguita secondo le specifiche procedure del sistema qualità;
- Controllo visivo e funzionale prodotto finito;
- Controllo periodico delle prestazioni omologative tramite test effettuati presso laboratori esterni accreditati FIA.

Le specifiche di progettazione considerate nello sviluppo delle tute tengono in considerazione:

- le prescrizioni contenute nella normativa FIA 8856-2000 relativa alle tute e i materiali che le compongono (prestazioni di ignifugità e variazione dimensionale dovuta al lavaggio);
- la selezione di materiali idonei a garantire i livelli di protezione richiesti, che non pregiudichino la salute o l'igiene dell'utilizzatore e nelle condizioni prevedibili di normale utilizzo, non rilascino e non si deteriorino al punto di rilasciare sostanze generalmente note come tossiche, cancerogene, mutagene, allergeniche o altrimenti nocive (UNI EN ISO 13688:2013 Par.4.2)
- la realizzazione di un modello che garantisca un comfort adeguato, libertà di movimenti, evitando di essere di intralcio durante l'utilizzo.(UNI EN ISO 13688:2013 Par.4.3 e Par.4.4) e nel dimensionamento delle taglie corretto (UNI EN ISO 13688:2013 Par.6)
- le informazioni da inserire nell'etichettatura e nel libretto di uso e manutenzione del capo (UNI EN ISO 13688:2013 Par.7 e Par.8)

Tutte le prove prestazionali eseguite per l'omologazione FIA 8856-2000 risultano valide, mentre rimangono da eseguire il controllo dei requisiti specifici di progettazione secondo la UNI EN ISO

14460, la verifica dell'ergonomia, delle taglie le prove di innocuità dei materiali costituenti il capo, ai sensi della UNI EN ISO 13688:2013.

In termini di innocuità le prove eseguite su tutti i tessuti e accessori tessili, come polsi e caviglie, sono:

- la valutazione delle ammine aromatiche considerate carcinogeniche derivate da azocoloranti, individuabili con o senza estrazione, in conformità alla UNI EN 14362-1:2012 (su materiali colorati): per essere conformi la loro quantità determinata sui materiali deve essere trascurabile (<1 mg/kg).
- la valutazione del pH dell'estratto acquoso in conformità alla UNI EN ISO 3071:2006 (su materiali colorati e non): per essere conformi il valore deve essere compreso tra 3,5 e 9.

La verifica dell'ergonomia viene eseguita controllando che siano soddisfatti i parametri elencati sotto forma di questionario nella Appendice C della norma UNI EN ISO 13688:2013, ovvero rispondendo in maniera positiva alla richiesta che il capo sia libero da caratteristiche pericolose (come parti taglienti e spigolose, superfici abrasivi, estremità sporgenti, ...), sia adatto ad essere indossato e rimosso con facilità, che copra le parti del corpo che vogliono essere protette, che permetta l'esecuzione di movimenti basilari (come sedersi, alzarsi, camminare, salire le scale, posizionare le braccia sopra la testa, ...) e che sia compatibile con altri DPI dello stesso produttore di cui si prevede l'utilizzo simultaneamente.

Etichettatura e libretto di uso e manutenzione vengono completati con i simboli e le istruzioni specifiche richieste.

3.3.2.1 *Analisi dei rischi*

Per poter mettere in evidenza il soddisfacimento dei requisiti essenziali di salute e sicurezza, viene allegato alla documentazione tecnica presentata all'organismo notificato, uno schema riassuntivo di analisi dei rischi come quello riportato in Appendice, che evidenzia le soluzioni tecniche adottate e le corrispondenti norme tecniche di riferimento.

Le norme citate sono principalmente quelle previste dagli standard omologativi integrate da quelle ISO, riferite agli indumenti di protezione in generale, mentre le scelte tecniche descritte non sono altro che quelle applicate nella progettazione del capo, precedentemente commentate.

Così come elaborato, la conformità può essere accertata e viene concesso al produttore di apporre sul capo la marcatura CE.

4. CONCLUSIONI

L'obiettivo della tesi, ovvero quello di ottenere la certificazione CE del prodotto tuta Racing, è stato raggiunto grazie alla approfondita analisi dei requisiti già soddisfatti dalle omologazioni FIA ed SFI. Il processo non ha stravolto le caratteristiche del prodotto ma lo ha completato in alcuni aspetti, come quello di sicurezza dei materiali, in termini di rilascio di sostanze tossiche, informazioni presenti sull'etichettatura e sul manuale d'istruzione.

Il grado di sicurezza dell'utilizzatore garantito dal capo viene sì incrementato dall'ottemperanza alle disposizioni contenute nelle norme ma non potrà mai annullare il rischio insito in una pratica sportiva per sua natura pericolosa. Inoltre un uso scorretto del capo e dell'equipaggiamento in dotazione diminuisce il livello di protezione teorico garantito dal produttore e le prescrizioni imposte dai regolamenti non vengono talvolta rispettate.

È importante dunque sensibilizzare il pilota sull'importanza del corretto utilizzo degli indumenti a sua disposizione, che hanno come unico scopo quello di proteggerlo: sebbene non siano sempre fondamentali per salvargli la vita, sono in ogni caso indispensabili per garantire una quantità di tempo prezioso per la sua incolumità e per la riduzione delle lesioni a suo carico.

5. RINGRAZIAMENTI

Colgo l'occasione per ringraziare di cuore tutte le persone che hanno contribuito direttamente e indirettamente alla stesura dell'elaborato, in primo luogo l'azienda Sparco che, anche attraverso l'intensa partecipazione del personale tutto, mi ha permesso non solo di lavorare sul progetto di tesi, ma di intraprendere un vero e proprio percorso formativo.

Desidero ringraziare per i preziosi insegnamenti Angelo Bardascino, che fin dal primo giorno in azienda, mi ha accompagnato nella scoperta del mondo lavorativo e di quello del Motorsport, coinvolgendomi in tutte le attività dell'ufficio Ricerca e Sviluppo, e Ilaria Franzin, supporto emotivo ed intellettuale, che più di tutti mi ha ispirato nella impostazione logica specifica della trattazione e di quella più generale del processo di innovazione tecnologica della produzione:

Ringrazio Elena, collega attenta e premurosa, e Barbara, senza la cui competenza e sollecitudine, il complesso mondo normativo degli indumenti di protezione per piloti automobilistici, non avrebbe assunto alcuna chiarezza.

APPENDICE

ANALISI DEI RISCHI ALLEGATA AL FASCICOLO TECNICO PER LA MARCATURA CE DI UNA TUTA RACING:			
	REQUISITI GENERALI DA SODDISFARE	SOLUZIONI E SCELTE TECNICHE ADOTTATE	NORMA/E TECNICA/HE ADOTTATA/E
Ergonomia	I DPI devono essere progettati e fabbricati in modo tale che, nelle condizioni di impiego prevedibili cui sono destinati, l'utilizzatore possa svolgere normalmente l'attività che lo espone a rischi, disponendo al tempo stesso di una protezione appropriata e del miglior livello possibile.	Progettazione ergonomica del prodotto secondo le norme tecniche applicabili	FIA 8856-2000 p.to 5.1
			UNI EN ISO 13688 p.to 4.3
			UNI EN ISO 14460-2003 p.to 4.1
Livelli e classi di protezione	<p><u>Livelli di protezione quanto possibili</u> Il livello di protezione ottimale da prendere in considerazione all'atto della progettazione è quello al di là del quale le limitazioni risultanti dal fatto di portare il DPI ostacolerebbero la sua effettiva utilizzazione durante l'esposizione al rischio o il normale svolgimento dell'attività.</p>	Il Dispositivo è stato posto come DPI di categoria III	Decisione presa in base alla destinazione d'uso e all'utilizzo ragionevolmente prevedibile del DPI e a quanto previsto dalla norma FIA 8856-2000
	<p><u>Classi di protezione adeguate a diversi livelli di un rischio</u> Qualora le diverse condizioni di impiego prevedibili portino a distinguere vari livelli di uno stesso rischio, all'atto della progettazione del DPI devono essere prese in considerazione classi di protezione adeguate.</p>		

Innocuità dei DPI	<u>Assenza di rischi e altri fattori di disturbo "autogeni"</u> I DPI devono essere progettati e fabbricati in modo da non provocare rischi e altri fattori di disturbo nelle condizioni prevedibili di impiego.	Il DPI è stato progettato e realizzato secondo la normativa FIA 8856-2000	FIA 8856-2000 p.to 5.1 e 7.1 UNI EN ISO 13688
	<u>Materiali costitutivi appropriati</u> I materiali costitutivi dei DPI e i loro eventuali prodotti di decomposizione non devono avere effetti nocivi per l'igiene o per la salute dell'utilizzatore.	Il DPI è stato progettato e realizzato secondo la normativa FIA	FIA 8856-2000 p.to 5.1 e 7.1
	<u>Stato di superficie adeguato di ogni parte di un DPI a contatto con l'utilizzatore</u> Ogni parte di un DPI a contatto, o suscettibile di entrare a contatto con l'utilizzatore durante l'impiego non deve avere asperità, spigoli vivi, sporgenze, ecc., suscettibili di provocare una irritazione eccessiva oppure delle ferite.	Progettazione ergonomica del prodotto utilizzando le norme sulla vestibilità. 2013 La tuta è stata inoltre testata considerando anche gli indumenti sottotuta che il pilota normalmente indossa	FIA 8856-2000 aggiornata al 10/07/2015 p.to 5 e UNI EN ISO 13688:2013 Par.4.2:
	<u>Ostacoli massimi ammissibili per l'utilizzatore</u> I DPI devono ostacolare il meno possibile i gesti da compiere, le posizioni da assumere e la percezione sensoriale e non devono essere l'origine di gesti che possano mettere in pericolo l'utilizzatore o altre persone.	Progettazione ergonomica del prodotto utilizzando le norme sulla vestibilità. La tuta è stata inoltre testata considerando anche gli indumenti sottotuta che il pilota normalmente indossa	FIA 8856-2000 aggiornata al 10/07/2015 p.to 5 e UNI EN ISO 13688:2013 Par.4.2

Fattori di comfort e di efficacia	<p><u>Adeguamento dei DPI alla morfologia dell'utilizzatore.</u> I DPI devono essere progettati e fabbricati in modo tale da poter essere indossati il più comodamente possibile sull'utilizzatore, nella posizione appropriata e restarvi durante il periodo necessario e prevedibile dell'impiego, tenendo conto dei fattori ambientali, dei gesti da compiere e delle posizioni da assumere. A tal fine i DPI devono rispondere il più possibile alla morfologia dell'utilizzatore mediante ogni mezzo opportuno: adeguati sistemi di regolazione e di fissaggio o una gamma sufficiente di misure e taglie.</p>	<p>Progettazione ergonomica del prodotto utilizzando le norme sulla vestibilità. Si è inoltre tenuto conto dell'abbigliamento sottotuta che il pilota deve indossare durante l'utilizzo</p>	<p>FIA 8856-2000 aggiornata al 10/07/2015 p.to 5.1 e 7.1 UNI EN ISO 13688:2013</p>
	<p><u>Leggerezza e solidità di costruzione.</u> I DPI devono essere il più possibile leggeri senza pregiudizio per la solidità di costruzione e la loro efficacia. Oltre ai requisiti supplementari specifici previsti al punto 3, cui i DPI devono rispondere per assicurare una protezione efficace contro i rischi da prevenire, essi devono possedere una resistenza sufficiente nei confronti dei fattori ambientali inerenti alle condizioni d'impiego prevedibili.</p>	<p>Il DPI è stato progettato e realizzato con materiali idonei a garantire il livello di protezione necessario durante le competizioni e testati secondo le norme previste</p>	<p>UNI EN ISO 15025:2003</p>
	<p><u>Compatibilità necessaria tra i DPI destinati ad essere indossati simultaneamente dall'utilizzatore.</u> Se diversi modelli di DPI, di categoria o tipo diversi sono immessi sul mercato da uno stesso fabbricante per assicurare simultaneamente la protezione di parti contigue del corpo, tali modelli devono essere compatibili.</p>	<p>Il dispositivo è stato realizzato per essere utilizzato unitamente ad altri dispositivi che completano la protezione del pilota: sottotuta, guanti, sottocasco, scarpe. I vari dispositivi non sono collegati direttamente alla tuta ma sono tutti progettati e realizzati per conseguire complessivamente un adeguato livello di protezione: è responsabilità del pilota scegliere i vari indumenti in modo che siano della taglia giusta e indossare correttamente i dispositivi come da istruzioni date dal fabbricante.</p>	<p>FIA 8856-2000 aggiornata al 10/07/2015 p.to 5.1 e UNI EN ISO 13688:2013</p>

<p>DPI «che avvolgono» le parti del corpo da proteggere</p>	<p>I DPI che «avvolgono» le parti del corpo da proteggere devono essere sufficientemente aerati, per quanto possibile, onde limitare il sudore derivante dal fatto di portarli; oppure devono essere dotati, se possibile, di dispositivi per assorbire il sudore.</p>	<p>Le tute sono realizzate con materiali il più leggeri e traspiranti possibile, purché possano garantire la necessaria protezione al fuoco che è prioritaria rispetto al comfort. Le tute sono inoltre previste per uso sportivo e si prevede che siano indossate per brevi periodi di tempo.</p>	<p>FIA 8856-2000 Par.5</p>
<p>DPI soggetti a invecchiamento</p>	<p>Se le prestazioni previste dal progettatore per i DPI allo stato nuovo possono diminuire notevolmente a seguito di un fenomeno di invecchiamento, su ogni esemplare o componente intercambiabile di DPI immesso sul mercato e sull'imballaggio deve figurare la data di fabbricazione e/o, se possibile, quella di scadenza impressa in modo indelebile e senza possibilità di interpretazione erronea. Se il fabbricante non può impegnarsi per quanto riguarda la "durata" di un DPI, egli deve indicare nella sua nota informativa ogni dato utile che permetta all'acquirente o all'utilizzatore di determinare un termine di scadenza ragionevolmente praticabile in relazione alla qualità del modello e alle condizioni effettive di deposito, di impiego, di pulizia, di revisione e di manutenzione. Qualora si constatasse che i DPI subiscono un'alterazione rapida e sensibile delle prestazioni a causa dell'invecchiamento provocato dall'applicazione periodica di un processo di lavaggi raccomandato dal fabbricante, quest'ultimo deve apporre, se possibile, su ciascun dispositivo posto in commercio, l'indicazione del numero massimo di pulitura al di là del quale è opportuno revisionare o sostituire il DPI; in mancanza di ciò il fabbricante deve fornire tale dato nella nota informativa.</p>	<p>Viene raccomandato di controllare la tuta da parte di Sparco ogni 3 anni o sostituirla. Le informazioni per il corretto uso e manutenzione-conservazione sono riportate nel manuale d'uso allegato ad ogni tuta. Sul ricamo omologativo presente sul dorso del collo viene dichiarato mese/anno di produzione come previsto dallo standard FIA 8856-2000.</p>	<p>FIA 8856-2000 g.a Appendix III UNI EN ISO 14460:2003 punto 9a</p>

REQUISITI PARTICOLARI DA SODDISFARE		SOLUZIONI E SCELTE TECNICHE ADOTTATE		NORMA/E TECNICA/HE ADOTTATE
Protezione contro il calore e (o) il fuoco	I DPI destinati a proteggere interamente o parzialmente il corpo contro gli effetti del calore e (o) del fuoco devono avere un potere di isolamento termico e una resistenza meccanica adeguati alle condizioni prevedibili di impiego.	<p><u>Materiali costitutivi e altri componenti dei DPI.</u></p> <p>I materiali costitutivi e altri componenti appropriati alla protezione contro il calore raggianti e convettivo devono essere caratterizzati da un adeguato coefficiente di trasmissione del flusso termico incidente e da un grado di incombustibilità sufficientemente elevato, per evitare ogni rischio di autoinfiammazione nelle condizioni prevedibili di impiego. [...]. I materiali e gli altri componenti di DPI, suscettibili di ricevere grandi proiezioni di prodotti caldi devono inoltre assorbire sufficientemente gli urti meccanici (vedi punto 3.1). I materiali e gli altri componenti di DPI suscettibili di venire accidentalmente a contatto con la fiamma e quelli che rientrano nella fabbricazione di dispositivi di lotta antincendio devono inoltre essere caratterizzati da un grado di ininfiammabilità corrispondente alla classe dei rischi incorsi nelle condizioni prevedibili di impiego. Essi non devono fondere sotto l'azione della fiamma, né contribuire a propagarla.</p>	I materiali costitutivi e altri componenti appropriati alla protezione contro il calore raggianti e convettivo devono essere caratterizzati da un adeguato coefficiente di trasmissione del flusso termico incidente e da un grado di incombustibilità sufficientemente elevato, per evitare ogni rischio di autoinfiammazione nelle condizioni prevedibili di impiego.	Sono stati scelti dei materiali idonei a superare le prove previste dalla normativa FIA 8856-2000 aggiornata al 10/07/2015 (ISO9151_HTI24 \geq 11 sec/ ISO15025_procedura A: tempo post-combustione \leq 2 sec)
			I materiali e gli altri componenti di DPI suscettibili di venire accidentalmente a contatto con la fiamma e quelli che rientrano nella fabbricazione di dispositivi di lotta antincendio devono inoltre essere caratterizzati da un grado di ininfiammabilità corrispondente alla classe dei rischi incorsi nelle condizioni prevedibili di impiego. Essi non devono fondere sotto l'azione della fiamma, né contribuire a propagarla.	Sono stati scelti dei materiali idonei a superare le prove previste dalla normativa FIA 8856-2000 aggiornata al 10/07/2015 (ISO9151_HTI24 \geq 11 sec/ ISO15025_procedura A: tempo post-combustione \leq 2 sec)

<p>Protezione contro il calore e (o) il fuoco</p>	<p>I DPI destinati a proteggere interamente o parzialmente il corpo contro gli effetti del calore e (o) del fuoco devono avere un potere di isolamento termico e una resistenza meccanica adeguati alle condizioni prevedibili di impiego.</p>	<p><u>DPI completi, pronti per l'uso.</u> In condizioni prevedibili d'impiego: 1) La quantità di calore trasmessa all'utilizzatore attraverso il DPI deve essere sufficientemente bassa affinché il calore accumulato per tutta la durata d'impiego nella parte del corpo da proteggere non raggiunga mai la soglia di dolore o quella in cui si verifichi un qualsiasi effetto nocivo per la salute. 2) I DPI devono impedire, se necessario, la penetrazione di liquidi o di vapori e non devono causare ustioni derivanti da contatti puntuali tra il loro rivestimento protettivo e l'utilizzatore. [...]. Il fabbricante deve in particolare indicare, nella nota informativa allegata ad ogni modello di DPI destinato a interventi di breve durata in ambienti caldi, qualsiasi dato utile ai fini della determinazione della durata massima ammissibile dell'esposizione dell'utilizzatore al calore trasmesso attraverso i dispositivi utilizzati conformemente al loro impiego in condizioni prevedibili d'impiego.</p>	<p>la quantità di calore trasmessa all'utilizzatore attraverso il DPI deve essere sufficientemente bassa affinché il calore accumulato per tutta la durata d'impiego nella parte del corpo da proteggere non raggiunga mai la soglia di dolore o quella in cui si verifichi un qualsiasi effetto nocivo per la salute;</p>	<p>Sono stati scelti dei materiali idonei a superare le prove previste dalla normativa FIA 8856-2000 (ISO9151_HTI24 \geq 11 sec/ ISO15025_procedura A: tempo estinguimento fiamma \leq 2 sec)</p>
<p>Protezione contro le aggressioni meccaniche superficiali (sfregamento, punture, tagli, morsicature)</p>	<p>I materiali costitutivi e altri componenti dei DPI destinati a proteggere interamente o parzialmente il corpo contro aggressioni meccaniche superficiali quali sfregamenti, punture, tagli o morsicature, devono essere scelti o progettati e strutturati in modo tale che questi tipi di DPI siano resistenti all'abrasione, alla perforazione e alla tranciatura in relazione alle condizioni prevedibili di impiego</p>	<p>Sono stati scelti dei materiali idonei a superare le prove previste dalla normativa FIA (TEST FIA cap. 7.3 e UNI EN ISO 14460 cap. 6.3)</p>		

BIBLIOGRAFIA

[1] P. Kotler, G. Armstrong, J. Saunders, V. Wong, *Principles Of Marketing*, II European Edition, Prentice Hall Europe, 1999

[2] Karl T. Ulrich e Steven D. Eppinger, (edizione italiana a cura di Gianni Nicoletto (2001) *Progettazione e sviluppo di prodotto*, McGrawHill Book Company.,2012

[3] Dr. James Norman, *Race Car Deaths: The Medical Causes of Racing Deaths with Examples and Resulting Race Car Improvements*, Posted on June 23, 2013, freely available at: <http://blog.parathyroid.com/race-car-deaths-medical-causes-racing-deaths/>

[4] Ben Chapman, Fire protection, freely available at <http://www.benchapman.com/project/history3.html>

[5] <https://www.fia.com/organisation>

[6] FIA Standard 8856-2000, *Protective Clothing For Automobile Drivers*, Federation Internationale De L'automobile (FIA), updated: 10.15.2015

[7] FIA Sport / Safety Department, *Fia homologation regulations for safety equipment*, Published on 03.12.2015

[8] <http://sfifoundation.com/>

[9] <http://sfifoundation.com/protectivegearrestraintsnets/>

[10] *Direttiva 89/686 sui dispositivi di protezione individuale*, Fonte: Gazzetta Ufficiale delle comunità europee 30.12.89. N.L 399/18, DIRETTIVA DEL CONSIGLIO del 21 dicembre 1989 concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli stati membri relative ai dispositivi di protezione individuale (89/686/CEE)

[11] http://www.academia.edu/17533138/Tutti_in_pista_Psicologia_fisiologia_e_neuroscienze_nell_automobilismo_sportivo

[12] Guowen Song, Sumit Mandal, René Rossi, *Thermal Protective Clothing For Firefighters*, Woodhead Publishing,27 ago 2016

[13] A.R. Horrocks , S.C. Anand, *Handbook Of Technical Textiles*, Woodhead Publishing, February 2016 (Chapter 17-Textiles for survival Par.17.3.2 High temperatures and associated hazards, D.A. Holmes, Faculty of Technology, Department of Textiles, Bolton Institute, Deane Road, Bolton BL3 5AB, UK)

[14] UNI EN ISO 15025:2003, *Indumenti di protezione: Protezione contro il calore e la fiamma. Metodo di prova per la propagazione limitata della fiamma*, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Novembre 2003

[15] A.R. Horrocks , S.C. Anand, *Handbook Of Technical Textiles*, Woodhead Publishing, February 2016 (Chapter 10- Heat and flame protection, Pushpa Bajaj, Department of Textile Technology, Indian Institute of Technology, Hauz Khas, New Delhi – 110016, India)

[16] *Technical Guide for NOMEX® Brand Fiber*, freely available at: <http://www.dupont.com/products-and-services/personal-protective-equipment/thermal-protective/brands/nomex.html>

[17] A.R. Horrocks , S.C. Anand, *Handbook Of Technical Textiles*, Woodhead Publishing, February 2016 (Chapter 4- Technical fabric structures – 1.Woven fabrics, Walter S Sondhelm 10 Bowlacre Road, Hyde, Cheshire SK14 5ES, UK)

[18] A.R. Horrocks , S.C. Anand, *Handbook Of Technical Textiles*, Woodhead Publishing, February 2016 (Chapter 5- Technical fabric structures – 2. Knitted fabrics, Subhash C Anand, Faculty of Technology, Bolton Institute, Deane Road, Bolton BL3 5AB, UK)

[19] UNI EN ISO 9151:2017, *Indumenti di protezione contro il calore e le fiamme - Determinazione della trasmissione di calore mediante esposizione a una fiamma*, Marzo 2017

[20] A.R. Horrocks , S.C. Anand, *Handbook Of Technical Textiles*, Woodhead Publishing, February 2016 (Chapter 16- Textiles in defence*, Richard A Scott, Defence Clothing and Textiles Agency, Science and Technology Division, Flagstaff Road, Colchester, Essex CO2 7SS, UK)

[21] A.R. Horrocks , S.C. Anand, *Handbook Of Technical Textiles*, Woodhead Publishing, February 2016 (Chapter 2- Technical fibres, Mohsen Mirafteb, Department of Textiles, Faculty of Technology, Bolton Institute, Deane Road, Bolton BL3 5AB, UK)

[22] A.R. Horrocks , S.C. Anand, *Handbook Of Technical Textiles*, Woodhead Publishing, February 2016 (Chapter 6- Technical fabric structures – 3. Nonwoven Fabrics, Philip A Smith, Department of Textile Industries, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK)

[23] SFI Technical Bulletin 3.2, *Subject: fire protection material*, Quality Assurance Specifications, SFI Foundation Inc., February 2014

[24] Sfi Specification 3.2A, *Product: Driver Suit*, Quality Assurance Specifications, SFI Foundation Inc., March 2017

[25] Scott Kukuck, Kuldeep Prasad, *NISTIR 6993 Thermal Performance of Fire Fighters' Protective Clothing, 3. Simulating a TPP Test for Single-Layered Fabrics*, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899-8663

[26] A.R. Horrocks , S.C. Anand, *Handbook Of Technical Textiles*, Woodhead Publishing, February 2016 (Chapter 9- Coloration of technical textiles, Ian Holmechool of Textile Industries, University of Leeds, Leeds LS2 1JT, UK)

[27] EN ISO 12947-2:2017, *Tessili - Determinazione della resistenza all'abrasione dei tessuti con il metodo Martindale - Parte 2: Determinazione del deterioramento dei provini*, http://www.pratotextile.net/Schede_tecniche/norme/iso_12947.asp

[28] Bhatia D, Malhotra U, *Thermophysiological Wear Comfort of Clothing: An Overview*, J Textile Sci Eng 6:250. doi:10.4172/2165-8064.1000250, 2016

[29] Ing. Daniela Ferroni, PhD, *L'indice di comfort: Test e innovazione* , Busto Arsizio, Aprile 2017 http://www.centrocot.it/download/pub/ctc_3/IndicediComfort%20.pdf

[30] UNI EN ISO 12945-1:2002, *Tessili - Determinazione della tendenza dei tessuti alla formazione di pelosità superficiale e di palline di fibre (pilling)- Metodo pilling box*, http://www.pratotextile.net/Schede_tecniche/norme/iso_12945_1.asp

[31] <http://www.lartessile.it/servizi/pilling/>

[32] UNI EN ISO 12945-1:2002, *Tessili - Determinazione della tendenza dei tessuti alla formazione di pelosità superficiale e di palline di fibre (pilling) - Metodo pilling box*, http://www.pratotextile.net/Schede_tecniche/norme/iso_12945_1.asp